



SISAL

Simulation de Systèmes

Accessibles en Ligne

Rapport final

Novembre 2011

Jean-Marie HAUGLUSTAINE

Monique LEJEUNE

Stéphane MONFILS

Sommaire

1. Objectifs poursuivis par EnergySuD.....	3
1.1. Evaluation économique, coûts des investissements à caractère énergétique pour le bâtiment	3
2. Méthode de travail.....	3
2.1. Avant-propos : Questionnement, hypothèses et difficultés.....	3
2.2. Modus operandi	6
2.2.1. Sources	6
2.2.2. Actualisation.....	8
3. Calcul des prix.....	9
3.1. Parois.....	9
3.1.1. Données	9
3.1.2. Prix.....	11
3.2. Étanchéité à l'air.....	11
3.2.1. Données	11
3.2.2. Prix.....	12
3.3. La ventilation	13
3.3.1. Données	13
3.3.2. Coût.....	14
3.4. Système de chauffage.....	19
3.4.1. Données	19
3.4.2. Coût.....	24
3.4.2.1. Chaudières	24
3.4.2.2. Pompes à chaleur.....	28
3.4.2.3. Systèmes d'émission.....	31
3.4.2.4. Autres	33
3.5. ECS.....	34
3.5.1. Données	34
3.5.2. Coût.....	34
3.6. Combustibles.....	39
4. Annexe.....	40

1. Objectifs poursuivis par EnergySuD

1.1. Evaluation économique, coûts des investissements à caractère énergétique pour le bâtiment

Le projet SISAL a pour but de mettre à disposition du grand public un logiciel de simulation de systèmes accessible sur le web. En ce sens, le service EnergySuD, intégré au Département des Sciences et Gestion de l'Environnement [DSGE] de l'Université de Liège, a été intégré au partenariat du projet de recherche.

EnergySuD s'occupe plus particulièrement de l'évaluation économique des projets, à savoir la réalisation d'une base de données de prix de matériaux et systèmes proposés dans les descriptions de projets, et d'un calcul des prix des parois et systèmes installés.

Il s'agit donc pour le laboratoire d'ajouter la performance économique (investissements consentis à la construction, coûts d'utilisation, ...) à la performance thermique d'un bâtiment. Jusqu'à présent, nous nous sommes principalement intéressé à l'étude du résidentiel.

Les interventions d'EnergySuD ont apporté une aide aux décisions prises durant les réunions. Nous avons ainsi mis à jour régulièrement la base de données de prix, l'avons actualisée et complétée au fur et à mesure des implémentations du logiciel et des demandes des différents partenaires du projet.

2. Méthode de travail

2.1. Avant-propos : Questionnement, hypothèses et difficultés

En règle générale, et dans le secteur de la construction en particulier, tenter d'éditer une base de données de prix unitaires semble une tâche, sinon utopique, du moins ardue. En cause notamment les nombreuses fluctuations des marchés (particulièrement dans les années qui encadrent ce projet de recherche), les applications toujours différentes suivant les bâtiments construits, les contraintes particulières inhérentes à chaque projet, la difficulté rencontrée par l'entreprise qui se retrouve face à un carnet de commandes rempli ou un chantier ambitieux...

Il est donc nécessaire, en avant-propos de ce rapport, d'émettre une première réserve et d'imposer une certaine prudence dans la lecture et l'utilisation des données qui suivent.

La première question que nous nous sommes posée est la suivante : quels sont les prix que nous devons calculer ? Quels sont les éléments (pertinents) à prendre en compte dans une étude économique de ce genre, compte tenu des spécificités de chaque projet, et des « détails » propres à tout projet ?

Plusieurs discussions ont émaillé cet aspect de la recherche, principalement avec l'équipe en charge de la coordination du projet. De ces discussions est ressortie la direction générale suivante : donner le prix de l'investissement consenti pour la construction du bâtiment, et

Le coût énergétique annuel estimé ; ne sont donc pas intégrés les prix de l'entretien, de la maintenance, du remplacement éventuel de systèmes en fin de leur durée de vie, de la démolition ou du traitement des déchets ni même les indices de rentabilité ou de retour sur investissement qui ne peuvent, comme nous allons l'exposer, être calculés que sur une longue période et par comparaison avec une situation de base.

Le prix de la construction est estimé en compilant les prix des différents matériaux et composants de systèmes, fournis et placés. Plusieurs bases de données de prix actualisées régulièrement permettent cette estimation. Le prix de l'utilisation intègre pour le principal la facture énergétique. Il est donc nécessaire, pour ce faire, de mettre à jour régulièrement le prix de l'énergie en tenant compte de l'inflation et des situations économiques et financières du moment.

Une question se pose inévitablement : **que va représenter réellement le coût calculé ?** Il sera bien sûr évalué sur base d'hypothèses réalistes, mais ne pourra représenter qu'un coût partiel de la construction envisagée. Nombre de ces coûts sont difficiles à quantifier, principalement à cause d'un manque d'informations disponibles. Ainsi, le coût d'une paroi, par exemple, ne pourra être défini qu'au regard de la composition « fixe » proposée dans la base de données « parois » du logiciel, quelles que soient les modifications que l'utilisateur pourra y apporter, ou le caractère « vraisemblable » de la composition proposée. L'on comprend dès lors qu'il va être difficile d'appeler le résultat final « coût total du bâtiment », sans au moins informer l'utilisateur des hypothèses que nous avons choisies.

Une idée qui a été lancée à plusieurs reprises, sans réel écho, est le calcul d'un prix sur le long terme, afin d'en dégager une économie, un gain, une rentabilité. Le manque de succès de cette proposition tient dans la nécessité de créer un point de comparaison, une situation de base par rapport à laquelle nous pourrions évaluer un surinvestissement. Cette comparaison pourrait être effectuée soit entre deux projets en cours, soit entre un projet et un cas de base. Mais la définition d'une maison de référence risque de poser problème, dans le sens où elle doit avoir les mêmes caractéristiques géométriques que la maison étudiée. Ce qui revient à devoir créer une maison de référence pour chaque projet de chaque utilisateur, perspective qui ne semblait pas réaliste pour l'équipe coordinatrice.

Ainsi, le logiciel n'effectuera pas lui-même cette comparaison, même si les deux projets existent ; l'utilisateur devra la faire par lui-même. Etant donné que le serveur du programme SISAL garde tous les résultats de tous les projets, la comparaison pourra se réaliser dans la foulée d'une simulation ou a posteriori. Nous souhaitons toutefois attirer l'attention sur la nécessité d'informer l'utilisateur sur les durées de simulation, par exemple, afin qu'il ne se lance pas dans des comparaisons hasardeuses. Il faudra donc veiller à l'égislation des durées de simulation pour permettre une comparaison plausible des consommations. De plus, il ne nous semble pas possible d'extrapoler des résultats énergétiques portant sur une faible période de temps afin que ceux-ci puissent couvrir une année complète.

Bien sûr, cette comparaison reste une option pour l'utilisateur qui doit faire les calculs par lui-même.

D'autres questions subsistent encore : par exemple, faut-il prendre en compte les primes et les déductions fiscales (installation d'une chaudière HR+, HRTop, Optimaz, d'une chaudière bois, d'une ventilation D+ (RC), d'une PAC, d'un thermostat d'ambiance...) ? Il a été proposé d'insérer une liste des primes éligibles, dans laquelle l'utilisateur cocherait celles

qu'il lui serait possible d'obtenir, ou de laisser la possibilité d'encoder le montant total des primes d'un côté et des déductions fiscales de l'autre, avec en regard des champs libres pour cela, le lien vers le site Internet de la Région (www.energie.wallonie.be) où des informations sur ces primes sont disponibles. La valeur par défaut sera de 0 €. Aucune solution n'a pour le moment été implémentée dans le logiciel.

Que doit inclure exactement le « prix de construction » ? Une solution pourrait être de ne prendre en compte que ce qui fait la « spécificité énergétique » du bâtiment : isolation thermique, composition des murs (pour l'inertie)... et les seuls éléments dont il est fait mention dans l'interface, et que l'utilisateur peut choisir, ou qui lui sont imposés.

Il est important de mentionner les nouvelles orientations que l'équipe SISAL a décidé de prendre en ce qui concerne les parois : les compositions proposées dans le logiciel sont fixes, ce qui simplifie grandement le calcul du prix des parois. En revanche, il est permis aux utilisateurs de créer leurs propres parois, ou de modifier le U des parois existantes. N'ayant aucune « prise » sur les matériaux utilisés ni sur les épaisseurs d'isolants imaginés dans leurs parois, nous ne pouvons fournir une base de données de prix qui puisse être accessible pour attribuer un prix aux parois imaginées par les utilisateurs. Les prix que nous donnons ne sont donc valables que dans le cas où l'utilisateur modélise son bâtiment à partir des parois pré-encodées. Il doit, dans ce cas, être permis à l'utilisateur de donner lui-même un prix unitaire pour les parois qu'il a encodé lui-même.

Il a été décidé de ne pas prendre en compte ce qui ne fait pas partie de l'enveloppe chauffée au sens strict (parements, revêtements de toiture, espaces non chauffés comme les vides ventilés, les caves, les greniers...), ou qui en fait partie mais que l'utilisateur ne spécifie pas (parois intérieures qui ne séparent pas les zones...).

Le seul moyen imaginé (mais non implémenté à ce jour) est, encore une fois, de laisser un champ libre, pour que l'utilisateur puisse y encoder un montant global de son choix, représentatif à ses yeux du coût non envisagé dans le reste du calcul (0 € par défaut). Cela risque cependant de biaiser sa vision finale du coût consenti, et cela impose également de le mettre au courant des hypothèses prises, et des listes des postes compris et non-compris dans le coût délivré.

Le prix comprend ainsi :

- les différentes couches composant les parois de déperditions (mais uniquement les couches qui participent à la performance thermique du bâtiment) ;
- les portes, fenêtres, protections solaires ;
- les parois séparant les zones ;
- les systèmes de chauffage : chaudière (conventionnelle ou à condensation, gaz ou mazout) ou PAC (air-air, air-eau, sol-eau), émetteurs (chauffage par le sol ou radiateurs ou ventilo-convecteurs), thermostat d'ambiance (uniquement pour radiateurs), appoint électrique éventuel pour chauffage sol... ;
- les consommations de chaud, de froid (si PAC réversible) ;
- l'étanchéité à l'air (surcoût éventuel dû au soin particulier de la mise en œuvre) ;
- la ventilation, en fonction du type de système ;
- la fourniture, pose et main d'œuvre des éléments repris ci-dessus.

Le prix (pour le résidentiel) ne contient donc pas :

- les installations de chantier, terrassements, sondages, forages et fondations ;
- les raccordements aux fluides et réseaux (eau de distribution, téléphone, électricité...) ;
- les vides ventilés, caves, greniers, tous les espaces ne faisant pas partie du volume chauffé ;
- les systèmes d'évacuation des eaux usées (égouttage) et eaux de pluie ;
- certains parements ;
- les installations électriques ;
- les équipements intérieurs (cuisine, salle de bain, escaliers, ...) ;
- les finitions intérieures (en plus du plafonnage ou du gyproc éventuels) ou extérieures (solins, gouttières, tuiles de rive, faîtières...).
- **la TVA** et les honoraires d'étude.

2.2. Modus operandi

2.2.1. Sources

Afin d'établir une base de données de prix unitaires, nous avons été puiser dans diverses sources :

- Reflex : Entre 2005 et 2007, le laboratoire (se dénommant alors Laboratoire d'Architecture, Performances et Techniques, LAP&T, faisant partie de la Faculté des Sciences Appliquées de l'ULg) a développé, pour le compte d'Électricité De France, un logiciel d'aide, multicritère et multi-acteurs, à la décision dans les travaux de rénovation des bâtiments résidentiels, qui comprenait un module d'évaluation économique. Le laboratoire a mis ainsi sur pied une première base de données de prix dans le secteur de la construction. Les paramètres, hypothèses et éléments à apprécier n'étant, en toute logique, pas les mêmes, nous ne pouvions reprendre cette base de données telle quelle, mais pouvions l'exploiter pour étoffer celle de SISAL.

Parmi les autres travaux réalisés par le laboratoire qui nous ont été utiles dans la recherche des prix de la construction, nous pouvons également citer l'étude réalisée pour la commune de Villers-le-Bouillet, mettant en avant le rapport coûts / bénéfices des différents niveaux de performance énergétique des bâtiments neufs.

- UPA : régulièrement, l'Union Royale Professionnelle des Architectes édite un bordereau des prix unitaires, sorte de catalogue non exhaustif, un « *guide aux architectes lors de l'établissement d'estimations relatives aux travaux de bâtiments neufs à usage d'habitation de taille moyenne, permettant à l'architecte d'estimer le budget total de la construction concernée* ». La version 2009 a été rédigée sur base de soumissions rendues entre mars 2007 et mai 2008. Les éditions 2005 et 2007 ont également été consultées afin d'obtenir une confirmation, une infirmation ou une information non reprise dans les autres

versions. Remarquons de suite que ce catalogue se basant sur des prix obtenus à l'échelle nationale, il tient également compte des variations régionales des prix (par exemple, les prix pratiqués dans le Brabant wallon ou la province d'Anvers ne sont pas les mêmes que dans le Hainaut : il s'ensuit que, parfois, l'écart entre les prix minimaux et maximaux pour un même poste peut devenir important).

- « Je vais construire » : le magazine bien connu propose régulièrement une mercuriale, publiant ainsi des « *prix unitaires pour une habitation traditionnelle au programme ordinaire et réalisée par des professionnels aux conditions normales des entreprises. Ils représentent des moyennes nationales, indépendamment des influences saisonnières* ».
- CALE : dans le cadre de l'action « Construire Avec L'Énergie », plusieurs études d'ordre économique ont été réalisées, parmi lesquelles nous citerons :
 - L'étude économique réalisée par l'équipe du Prof. V. Feldheim (Faculté Polytechnique de l'Université de Mons) en 2007, mêlant les questions de surinvestissement consenti pour atteindre une meilleure performance, les économies réalisées (facture énergétique), la rentabilité attendue via certains indicateurs dans le secteur résidentiel neuf... Afin d'évaluer les surinvestissements qui sont à la base de toute l'analyse, une base de données a également été mise sur pied.
 - L'étude de sensibilité, réalisée elle aussi par l'Umons, en 2010, pour CALE. Il s'agissait d'y étudier la sensibilité de la méthode PEB pour les bâtiments résidentiels, à divers paramètres (isolation, ventilation, étanchéité, chauffage, énergies renouvelables...) et de la traduire par des résultats « PEB » et des indicateurs économiques identiques à ceux développés dans l'étude de 2007. La base de données de prix y est certes plus succincte, mais la participation d'EnergySUD nous a permis d'utiliser une méthode semblable, par exemple pour déterminer le prix de l'étanchéité à l'air du bâtiment en fonction de la surface de déperdition, ou le prix d'une chaudière en fonction de sa puissance.
- EC Estimation : ce logiciel, proposé par l'Annuel des Prix BTP, est un outil de chiffrage utilisé pour estimer le coût des travaux et réaliser des devis. Il fonctionne, lui aussi, à partir de bases de données de prix unitaires consultables, reprenant tous les aspects de la construction ou de la rénovation. Il propose en outre les prix de chaque poste en fonction de la quantité souhaitée.
- Divers : d'autres sources nous ont permis d'étoffer la base de données de prix de SISAL. Citons, entre autres, Jean-Marie Hauglustaine, directeur du laboratoire EnergySUD, dont la quinzaine d'années d'expérience en tant qu'architecte praticien nous a fourni une aide précieuse.

Plusieurs sites Internet de fournisseurs ont également été consultés pour certains prix plus précis (www.chauffage-systeme.fr, www.climit.fr, www.livios.be, www.my-electro.be, www.domotelec.fr...)

2.2.2. Actualisation

Dans le contexte du secteur de la construction, pour tenir compte de l'index et de l'inflation, il nous faut inclure les indices « i » pour les matériaux et « s » pour les salaires (coût de la mise en œuvre). Le problème qui se pose est d'inclure les paramètres de ceux-ci. Par exemple, l'indice « i » dépend notamment de la classe de travaux. L'indice « s », quant à lui, dépend de la taille de l'entreprise, de sa date d'enregistrement... Des hypothèses particulières ont ainsi été posées.

La première des hypothèses a eu pour anamnèse le constat que toutes les sources de prix utilisées couvrent des périodes différentes. Ainsi, le catalogue UPA/BUA 2009 se base sur des soumissions rendues entre mars 2007 et mai 2008 ; la mercuriale « Je vais Construire » utilisée date de 2006... Ne pouvant comparer que ce qui est comparable, nous devons ramener à une même période les prix de chaque source via l'utilisation des indices « i » et « s ». La dernière version de la base de données a été actualisée au 1^{er} janvier 2010. Le principe est simple : il s'agit d'appliquer au prix annoncé de chaque matériau un indice qui traduit l'évolution des prix des biens dans les derniers mois ou les dernières années.

Les indices disponibles sur Internet sont fiables, car ils sont donnés par le SPF Finances. Cependant, il existe un indice différent pour les différents types de matériaux envisagés : la catégorie A reprend les travaux « de rivières ou de mer, dragage, sols, maçonneries, routes, asphaltage, béton, bitume... » ; la catégorie B, les travaux de « toitures, jointoiement, marbrerie... » ; la catégorie C, les travaux de « irrigation, plafonnage, plâtre » etc. D'autres subdivisions existent, ainsi, les indices ne sont pas les mêmes si les entreprises considérées sont de petite taille (moins de 10 personnes) ou si elles sont plus grandes.

Aucun indice unique ne pouvant être appliqué de manière univoque à tous les matériaux, il a fallu poser une autre hypothèse : les indices considérés devaient être des moyennes des indices i et s, toutes catégories de travaux ou toutes tailles d'entreprises confondues.

Afin de ne pas devoir refaire un travail laborieux trop souvent, nous avons opté pour une solution nous permettant d'appliquer à l'ensemble des matériaux concernés une adaptation unique des prix, selon l'équation la plus couramment employée, à savoir : $0,4 * s/S + 0,4 i/I + 0,2$

où – i et s définis ci-avant sont la valeur des indices pour les matériaux et les salaires, au moment du calcul ;

– I et S sont les valeurs de ces mêmes indices à la date de la donnée connue du prix.

La méthode préconisée par le SPF Finances pour déterminer l'indice global à appliquer est le suivant : $0,4 * S + 0,4 * I + 0,2$.

- S représente l'indice « salaire »
- I représente l'indice « matériaux »

3. Calcul des prix

3.1. Parois

3.1.1. Données

Le prix des différentes parois, qu'elles soient déperditives ou non, ont été calculés comme nous l'avons explicité ci-avant sur base des compositions pré-encodées sur le site Internet (<http://sisal.provincedeliege.be>).



Fig. 1 : Page d'accueil du site Internet et lien vers le catalogue des parois

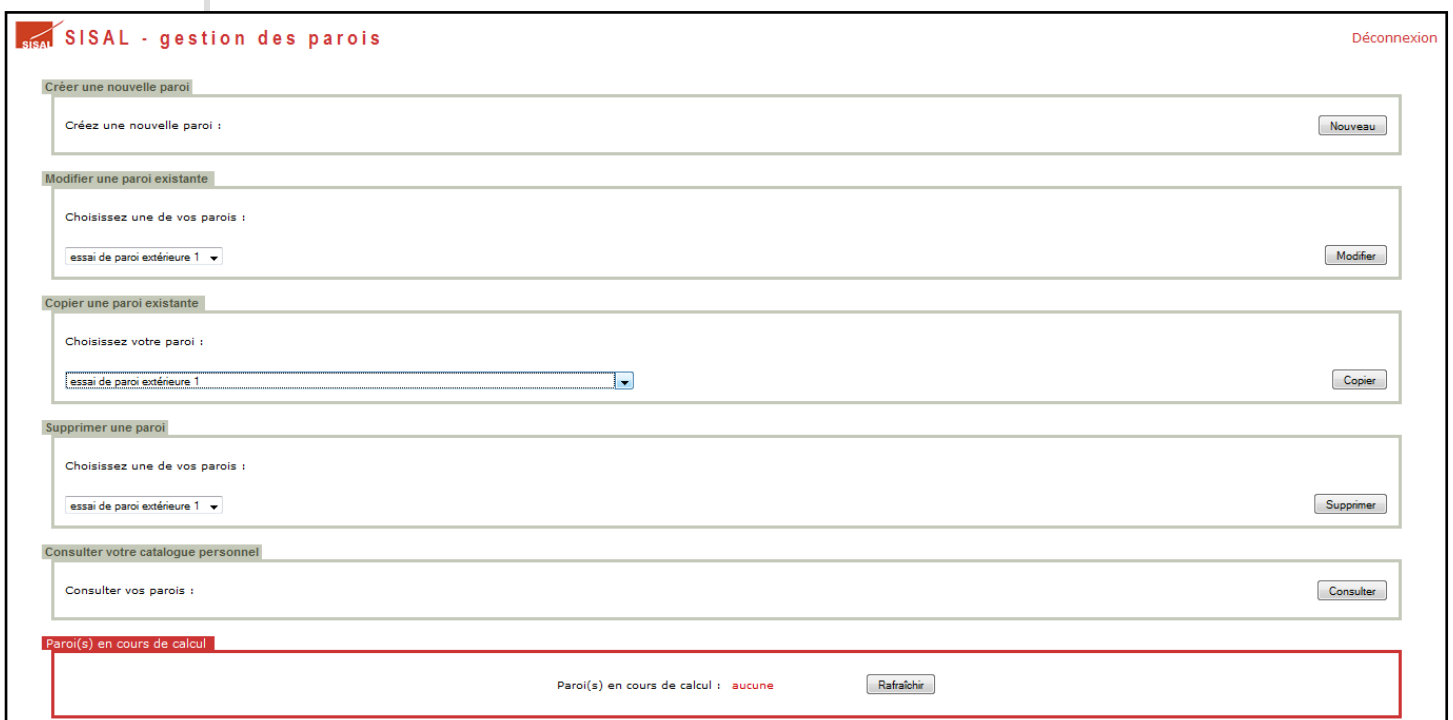


Fig. 2 : Page « gestion des parois » du site Internet

Les possibilités pour l'utilisateur sont les suivantes :

- Créer une nouvelle paroi : ce menu permet donc de composer sa propre paroi, intérieure ou extérieure, en y décrivant les différentes couches (épaisseur, valeur λ [qui n'est d'ailleurs pas toujours le paramètre adéquat pour tous les matériaux], masse volumique et chaleur spécifique). Il devrait, à ce menu, être ajoutée la possibilité d'encoder le prix de la paroi au m².
- Modifier une paroi existante personnelle (précédemment encodée par l'utilisateur lui-même) : ajout d'une couche ou modification des paramètres des couches déjà encodées. Le prix devrait pouvoir être modifié de la même façon.
- Copier une paroi existante : ce menu permet de dupliquer toute paroi, personnelle ou pré-encodée, afin d'en modifier la copie (par exemple, pour augmenter l'épaisseur de l'isolant d'un mur extérieur pré-encodé). L'utilisateur pouvant modifier tout ce qu'il désire dans les parois « copiées », il faut lui laisser la possibilité d'en modifier le prix, puisque le prix que nous livrons ne se rapporte qu'au modèle pré-encodé.

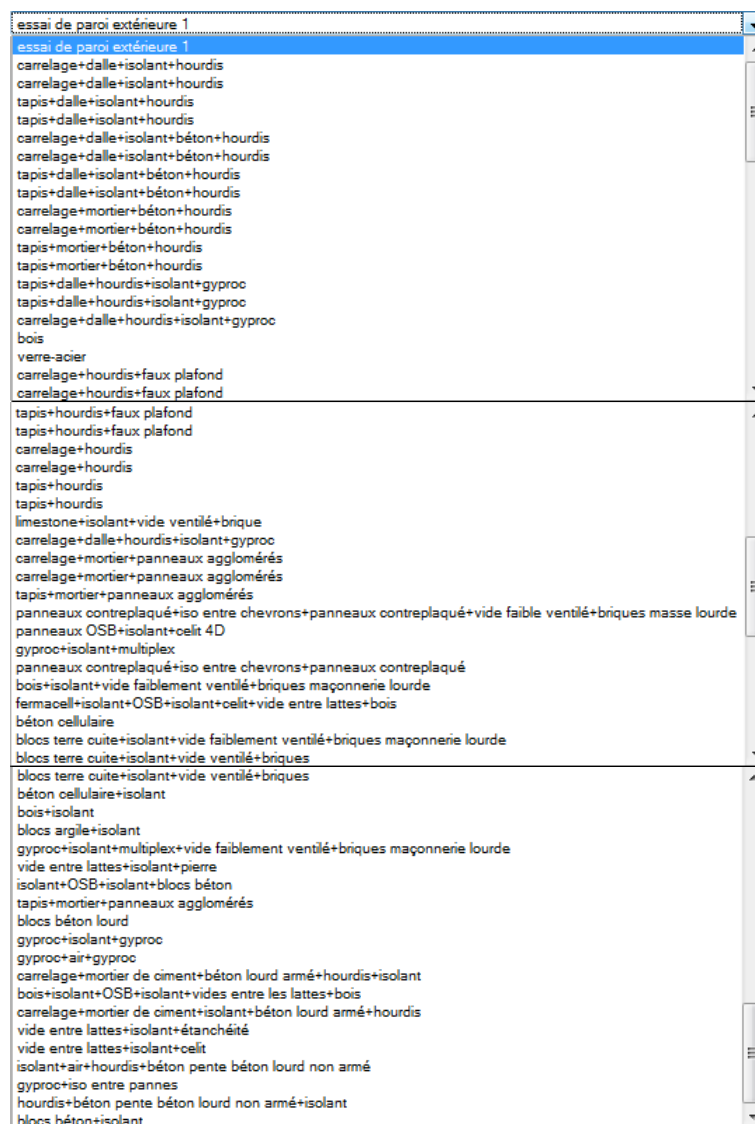


Fig. 3 : Liste des parois « personnelles » et « pré-encodées »

- Supprimer une paroi
- Consulter une paroi personnelle.

Attardons-nous donc sur le prix des parois pré-encodées, avec un exemple : un mur extérieur composé, de l'intérieur vers l'extérieur :

matériaux	épaisseur (en mm)	conductivité thermique λ (W/K.m)	masse volumique ρ (kg/m ³)	chaleur spécifique c (J/kg.K)
plâtre	10.00	0.5200	1300.00	840.00
blocs terre cuite	140.00	0.4670	1200.00	840.00
isolant	70.00	0.0350	35.00	830.00
vide ventilé faiblement	30.00	0.1760	1.20	1000.00
briques maçonnerie lourde	90.00	1.1000	1800.00	840.00

Fig. 4 : Composition d'une paroi type « pré-encodée » dans SISAL

3.1.2. Prix

Le prix de la paroi se calcule de façon simple, en additionnant les prix de chaque couche qui la constitue. Il est évident que les prix considérés doivent comprendre la pose du produit :

matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique λ [W/mK]	Résistance thermique (R) [m ² K/W]	masse volumique ρ [kg/m ³]	chaleur spécifique c [J/kg.K]	prix [€/m ²]	Remarques
carrelage	10	1,2	0,008	2000	840	49,95	Carrelage 30 x 30 (prix fourniture de 10,00 € HTVA)
mortier	60	0,93	0,065	1900	840	28,08	Chape mortier (400 kg de ciment par m ³) d'épaisseur moyenne 6 cm
béton	30	1,7	0,018	2400	840	0	compris dans poste "hourdis"
hourdis	160	1,182	0,135	2500	840	58,1	Plancher 16+3 portée <= 5,00 m
plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	36,79	Enduit plâtre fin
TOTAL	270		0,245			172,92	

Fig. 5 : Décomposition de la paroi et prix associés

L'isolant qui a été utilisé dans les formules du logiciel a toujours un lambda de 0,035 W/mK, sans autre indication sur le type de matériau mis en œuvre. Nous avons donc dû émettre une hypothèse raisonnable dans les techniques de construction traditionnelles et opter pour les isolants suivants : laine minérale en toiture et dans les murs, et polystyrène extrudé dans les planchers.

La liste des parois et des prix associés se trouve en annexe du présent rapport final.

3.2. Étanchéité à l'air

En marge du prix des parois de déperdition (matériaux) proprement dites, le prix de la construction augmente un peu ou sensiblement si un soin particulier est un peu ou beaucoup apporté à l'étanchéité à l'air du bâtiment.

3.2.1. Données

- La prise en compte de l'étanchéité à l'air dans un calcul de déperditions thermique se fait sur base d'un débit de fuite mesuré lors d'un test de pressurisation effectué sur le bâtiment, au cours duquel une différence de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur est maintenue. Ce test donne plusieurs résultats, dont un débit de fuite V_{50} rapporté au m² de « surface de test » (surface totale de déperdition de l'enveloppe considérée pendant le test : on peut supposer par première hypothèse que cette surface de test soit égale à la surface de déperdition totale du bâtiment).

- La valeur par défaut considérée pour ce v_{50} dans la PEB et dans les simulations SISAL est de $12 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. Il s'agit d'une valeur fortement pénalisante, le CSTC considérant que le renouvellement d'air moyen à l'intérieur des logements en Belgique se situe actuellement aux alentours de 8 h^{-1} . En réalité, atteindre un débit de fuite de $8 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ est chose aisée dans la construction, mais pour le prouver (et le valoriser), un test de pressurisation doit être effectué, et le coût associé sera le seul surcoût (soit en moyenne 500 € pour une maison unifamiliale).
- Les prix proposés par les études auxquelles EnergySuD a participé (étude de sensibilité CALE, notamment) sont assez rigides ; cela s'explique facilement par le fait que les débits de fuite renseignés sont les seuls considérés dans l'étude.

ETANCHEITE A L'AIR					
SOURCE : CALE - ES		partie fixe		partie variable	
	$12 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	0	€	0	€/m ² (At)
	$8 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	500	€	2	€/m ² (At)
	$2 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	500	€	8	€/m ² (At)
	0.6 h^{-1}	500	€	10	€/m ² (At)

Fig. 6 : Coût de l'étanchéité à l'air dans l'étude de sensibilité CALE

3.2.2. Prix

SISAL permettant aux utilisateurs d'encoder la valeur d'étanchéité souhaitée, il faut une formule plus souple. La proposition d'EnergySuD est la suivante :

- Si $v_{50} \geq 12$, le coût est considéré nul
- Si $8 > v_{50} > 12$, le seul coût considéré est celui du test d'infiltrométrie, soit 500 €
- Si $v_{50} \leq 8$, le surcoût peut être décomposé en une partie fixe (500 € pour le test blower door) et une partie variable, fonction de la surface de déperdition du bâtiment, et du débit de fuite encodé (le prix étant inversement proportionnel à la valeur de débit de fuite : plus la maison est rendue étanche, plus le v_{50} est faible, et plus le surcoût de construction sera élevé). La formule tient donc compte de ce paramètre en pondérant le surcoût maximal de 12€/m^2 de surface de déperdition par la valeur du v_{50} :

$$\text{coût} = \frac{12 \times A_t}{\max(\dot{v}_{50}, 1)}$$

Le test sur la maison « fil rouge » (une maison « moyenne » en Région wallonne sur un ensemble de paramètres architecturaux, utilisée fréquemment dans les études réalisées pour la Région) s'est révélé concluant :

exemple : maison fil rouge							
	At	408	m ²				
	Vp	551	m ³				
	Vint	441	m ³	1/v ₅₀	débit inf/exf	prix CALE	prix SISAL
	v ₅₀	0.45	m ³ /h.m ²	2.222	183.6	4580	5396
		2	m ³ /h.m ²	0.5	816	3764	2948
		8	m ³ /h.m ²	0.125	3264	1316	1112
		12	m ³ /h.m ²	0.083	4896	0	0

Fig. 7 : Surcoûts associés à l'étanchéité à l'air, dans l'étude de sensibilité CALE et dans SISAL

Le dénominateur, dans notre formule, ne peut être inférieur à 1 pour deux raisons :

- Il entraînerait une augmentation trop importante du surcoût associé

- Par exemple pour la maison fil rouge : une étanchéité type « maison passive » (renouvellement d'air à 50 Pa, $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$, ce qui équivaut à un débit de fuite $v_{50} = 0,65 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$) entraînerait un surcoût de plus de 8 000 €. Un tel surcoût nous semble difficilement justifiable car trop important.
- Nous pouvons raisonnablement penser qu'en-dessous de $1 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$, la plupart des maisons atteignent un niveau proche du passif. La valeur exacte du débit de fuite n'est dès lors plus capitale ; nous pouvons considérer un débit de fuite $\leq 1 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ sans conséquences importantes sur le surcoût pris en compte à la valeur de $1 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.

3.3. La ventilation

Dans un premier temps, nous avons rendu un prix global pour un système complet de ventilation type, basé sur les prix moyens rencontrés dans la construction des maisons résidentielles. Cela semblait cependant un peu simpliste, et ne tenait nullement compte du nombre de pièces de la maison, ou de la taille de celle-ci ou du fait qu'elles soient des locaux secs (amenée d'air) ou humides (extraction). La difficulté réside donc dans les données disponibles, afin de mieux approcher les paramètres qui nous permettent d'affiner le coût d'un système de ventilation.

3.3.1. Données

Données générales

Occupation

- zone 1
- zone 2

Description du bâtiment

- zone 1 : parois
- zone 2 : parois
- inter-zones : parois
- zone 1 : fenêtres
- zone 2 : fenêtres
- in/exfiltration

Ventilation →

Paramètres de chauffage

T° et pertes par distribution
Systèmes d'émission
Systèmes de production

Eau chaude sanitaire


Coûts

Données météo

Paramètres de calculs

lancez les calculs →

Les paramètres de ventilation volontaire



! N'oubliez pas de valider vos données en fin de formulaire !

- veuillez sélectionner une des options ci-dessous :

- ☐ système A ou ventilation naturelle.
- Amenée d'air naturelle - évacuation d'air naturelle.
- ☐ système B ou simple flux avec ventilation mécanique.
- Amenée d'air mécanique - évacuation d'air naturelle.
- ☐ système C ou simple flux avec extraction mécanique.
- Amenée d'air naturelle - évacuation d'air mécanique.
- ☒ système D ou double flux.
- Amenée d'air mécanique - évacuation d'air mécanique.

Fig. 8 : Page « ventilation » du site Internet SISAL

Le choix posé d'un système de ventilation entraîne bien sûr l'introduction d'autres données qui peuvent s'avérer importantes pour quantifier le coût global du système de ventilation.

Une première approche est celle utilisée dans l'étude de sensibilité CALE, qui propose une formule simple : un prix fixe (pour les éléments que l'on retrouve dans tout système de ventilation dans le secteur résidentiel) et une partie variable

(fonction de la taille du bâtiment au travers de sa surface de plancher chauffé A_{ch}).

VENTILATION								
source : CALE		partie fixe		partie variable		maison type ($A_{ch} = 178 \text{ m}^2$)		
	Ventilation naturelle (système A)	1500	€	10	€/m ² (A_{ch})	3280	€	surévalué
	Ventilation mécanique simple flux (B ou C)	1500	€	10	€/m ² (A_{ch})	3280	€	surévalué
	Ventilation mécanique double flux (D+)	4500	€	21	€/m ² (A_{ch})	8238	€	surévalué

Fig. 9 : Coût de la ventilation dans CALE – calcul pour la maison témoin

Il faut reconnaître l'intérêt d'introduire A_{ch} comme paramètre du calcul : en effet, plus la maison est grande, plus les conduites de distribution seront longues (approche moyenne), et plus les débits à assurer en ventilation seront importants (le calcul réglementaire des débits hygiéniques nominaux se base sur la surface des locaux). Si la surface de plancher chauffé n'est pas disponible, le rapport du volume protégé sur la hauteur moyenne des niveaux sera utilisé.

Les paramètres demandés dans SISAL sont les suivants :

- Le système utilisé (A, B, C ou D) ;
- Débits d'alimentation et d'évacuation [m³/h] ;
- Possibilité d'une ventilation intensive pour éviter la surchauffe ;
 - Nous considérerons (hypothèse réaliste considérant les habitudes moyennes dans le résidentiel belge) que la ventilation intensive se fera par ouverture des fenêtres et/ou des portes.
- Tous systèmes : hauteur d'ouverture des zones par rapport au rez-de-chaussée
 - Traduit la hauteur des grilles d'alimentation ; cela ne semble pas utile dans le cas des alimentations mécaniques (systèmes B et D) et, de manière générale, ne sera pas pris en compte dans l'établissement des prix, puisque la hauteur du positionnement des grilles n'interfère pas sur leur coût.
- Système A et B : hauteur de la cheminée par rapport au rez-de-chaussée ;
- Système D : efficacité du récupérateur (0 s'il n'y en a pas)
 - Un récupérateur pour le résidentiel coûte approximativement le même prix, quelle que soit son efficacité. Le paramètre important ici serait plutôt le débit supporté.

3.3.2. Coût

Le coût qui sera délivré à la fin sera un coût global dépendant de la surface de plancher chauffé, comme dans CALE. Pour établir ce coût, nous avons évalué les coûts des différents postes de la ventilation :

ALIMENTATION NATURELLE : il s'agira exclusivement de grilles d'alimentation dans les châssis de fenêtres (les grilles murales ne sont pas prises en compte car elles sont moins utilisées dans le secteur résidentiel ; de plus, cela entraînerait la nécessité de poser une question supplémentaire à l'utilisateur : grille dans le châssis ou dans le mur ?).

Nous comptons 1 grille par local sec, 2 pour le séjour. Nous pouvons

raisonnablement penser qu'une maison résidentielle moyenne est composée des locaux secs suivants : un salon, une salle à manger, un bureau et des chambres en nombre égal au nombre d'occupants du bâtiment (entre les familles « normales » qui ont besoin par exemple de 3 chambres pour 4 habitants, les familles « monoparentales » qui en utilisent une par personne, les familles nombreuses qui en occupent moins d'une par personne, et les locaux secs « autres », cela semble une bonne moyenne).

Nous aurons donc un nombre total de grilles d'alimentation (OAR) : $N + 4$, N étant le nombre d'occupants du bâtiment.

Ne connaissant pas la longueur des fenêtres concernées, nous n'en tiendrons pas compte. Le coût moyen d'une grille OAR dans un châssis est fixé à 60 €/pce.

→ Coût de l'alimentation nature $= 60 * (N + 4)$ [€]

EVACUATION NATURELLE : le problème de l'évaluation des éléments nécessaires à l'évacuation naturelle est que nous ne connaissons pas l'agencement intérieur des locaux humides (nombre de tuyaux nécessaires ?).

Le nombre moyen de locaux humides dans les résidences unifamiliales se situe environ à 4 (une cuisine, une salle de bain, un WC séparé et une buanderie ou autre local humide supplémentaire). En général, 3 de ces locaux se trouvent au rez-de-chaussée (cuisine, WC, buanderie), et la salle d'eau est à l'étage. Par souci de simplification (et de réalisme), nous compterons donc 3 tuyaux d'évacuation pour l'ensemble des locaux humides, partant par exemple du principe que la salle de bain de l'étage et la buanderie du rez-de-chaussée partagent la même évacuation.

La longueur totale des tuyaux d'évacuation est donnée par la différence entre la « hauteur de la cheminée par rapport au rez-de-chaussée » (donnée de l'onglet ventilation) et les « hauteurs sous plafond moyennes des zones 1 et 2 » (données de l'onglet in/exfiltration) $H_{\text{tuyau, zone1}} = H_{\text{cheminée}} - H_{\text{sp, zone1}}$ [m]

Le prix moyen des tuyaux d'extraction d'un diamètre de 125 mm, est de 12 €/mct (la moyenne est réalisée sur des tuyaux en PVC, armé ou non, isolés ou non, circulaires ou oblongs, d'un diamètre variant entre 63 et 200 mm...

Au sommet de chaque tuyau, nous pouvons rajouter une sortie de toiture complète (120 €/pce).

Enfin, du côté intérieur (et cela est valable pour tous les locaux humides), nous devons rajouter une bouche d'extraction (OER), qui coûte en moyenne 50 €/pce (moyenne réalisée sur des bouches réglables, auto-réglables et hygro-réglables de différents diamètres).

→ l'évacuation naturelle coût $= 3 * (120 + 12 * H_{\text{tuyau, zone1}}) + 4 * 50$ [€]
 $= 560 + 36 * H_{\text{tuyau, zone1}}$ [€]

OUVERTURES DE TRANSFERT : il peut s'agir, selon les cas, de fentes sous les portes détalonnées, ou de grilles intégrées dans les portes (moins couramment utilisées : nous n'en tiendrons pas compte dans notre calcul).

Si nous partons de l'hypothèse simplifiée que tous les locaux ventilés donnent sur un local de distribution (hall de jour, hall de nuit) par lequel transite l'air (locaux

secs → dégagements → locaux humides), le nombre d'ouvertures nécessaires est au moins égal au nombre total de locaux ventilés, qu'ils soient secs ou humides. Bien sûr, il s'agit là d'une hypothèse puisque nous ne connaissons ni l'agencement, ni les moyens de transfert de l'air entre les locaux secs et les locaux humides (par exemple, une cuisine ouverte sur la salle à manger ne nécessite aucune OT supplémentaire ; un salon pourrait être pourvu de plusieurs OT en fonction des débits amenés, et des locaux humides à desservir...). Nous considérerons donc un nombre total d'OT = $N + 7$, N étant le nombre d'occupants dans le bâtiment.

Le prix moyen pour une grille de transfert de l'air à intégrer dans une porte intérieure est de 50 €/pce .

→ Le prix total des OT est donc $= 50 * (N + 7) \text{ [€]}$.

ALIMENTATION MECANIQUE : dans le cas d'une ventilation mécanique (même si la mécanisation est partielle), nous devons d'office compter le prix d'un ventilateur. Celui-ci variera fortement en fonction des débits à prendre en charge. Comme pour les systèmes de chauffage, les ventilateurs disponibles sur la marché couvrent une plage de débits (maximum $300 \text{ m}^3/\text{h}$, maximum $550 \text{ m}^3/\text{h}$...). Les débits étant connus, nous pouvons établir un prix en fonction de ce débit pris en charge par le ventilateur : $1 \text{ €/}(\text{m}^3/\text{h})$.

Bien sûr, ce prix ne tient pour le moment compte que du ventilateur : à celui-ci doivent être ajoutées les gaines, et les bouches d'alimentation (OAM) au minimum (sans parler des gaines techniques / faux plafonds à créer pour le passage des gaines).

Le prix moyen des conduites de ventilation circulaires flexibles est de 12 €/mct . Afin d'en connaître la longueur, nous allons devoir extrapoler sur base de données trouvées dans les sources bibliographiques, et de paramètres connus dans SISAL.

Notre proposition :

- On divise le débit d'alimentation (Q) par $3,6 \text{ [m}^3/\text{h.m}^2]$, qui est le débit hygiénique nominal réglementaire par m^2 de surface ventilée,
 - On obtient ainsi le nombre de m^2 ventilés : $S = Q/3,6$;
- On assimile cette surface à un carré, de côté = $C = \sqrt{S}$;
- On considère une longueur de gainage égale au périmètre de ce carré : $L = 4 * C$;

→ Le prix du gainage considéré à 12 €/m $= 12 * 4 * \sqrt{\frac{Q_{a \text{ lim}}}{3,6}} \text{ [€]}$

Par exemple, une maison dont le débit d'alimentation est de $250 \text{ m}^3/\text{h}$, réparti en deux zones (jour et nuit) donne une longueur de gainage de $\pm 33 \text{ m}$, ce qui représente une somme de 400 € .

Le prix moyen d'une bouche d'alimentation mécanique (OAM) est de 50 €/pce (en réalité, le prix dépend du diamètre... nous les avons moyennés).

Le nombre nécessaire de bouches et de gaines d'alimentation est identique au nombre de grilles de châssis nécessaires en alimentation naturelle $(N + 4)$.

$$\rightarrow \text{Coût de l'alimentation mécanique} = 50 * (N + 4) + 12 * 4 * \sqrt{\frac{Q_{a\lim}}{3,6}} + Q_{a\lim} * 1 \quad [\text{€}]$$

Ainsi, pour une maison de 4 personnes dont le débit d'alimentation est de 250 m³/h, le coût attribué à l'alimentation seule est de 1 050 €.

A ce coût doit bien sur être ajouté celui des OT et de l'extraction.

EXTRACTION MECANIQUE : le principe est le même que pour l'alimentation mécanique.

- Prix du ventilateur : 1 €/ (m³/h) pris en charge

- Prix des bouches d'évacuation : 50 €/pce

o Nombre de bouches = nombre de locaux humides = 4

- Calcul des longueurs de gaines d'évacuation et de leur coût = $12 * 4 * \sqrt{\frac{Q_{\text{évac}}}{3,6}}$

o Q étant cette fois le débit d'extraction

→ Coût de l'évacuation mécanique :

$$= 50 * 4 + 12 * 4 * \sqrt{\frac{Q_{\text{évac}}}{3,6}} + Q_{\text{évac}} * 1 \quad [\text{€}]$$

Pour une maison dont le débit d'extraction est de 200 m³/h, le coût proposé est de 757,77 €.

RECUPERATION DE CHALEUR : dans le cas où le système de ventilation choisi est un système D, il est possible de valoriser une récupération de chaleur. Ce système permet un croisement des flux d'alimentation (air extérieur « froid ») et d'extraction (air intérieur « chaud ») afin que le deuxième transmette ses calories au premier. La performance du récupérateur dépend grandement de l'équilibrage des débits, de la température de l'air à l'extérieur, de la présence d'un by-pass... Ces données ne conditionnant pas le prix d'un récupérateur de type résidentiel (sauf le débit), nous n'en tenons pas compte.

Le prix que nous allons donner ici remplace les ventilateurs d'alimentation et d'extraction mécanique, mais pas les prix des gainages ni des bouches nécessaires.

Les différentes sources consultées donnent un prix moyen de 10 €/ par m³/h pris en charge. Au cas où l'équilibrage n'est pas correct, il nous faudra prendre en compte le débit maximal entre $Q_{\text{alimentation}}$ et $Q_{\text{extraction}}$.

Ainsi, le coût du récupérateur sera = $10 * \max(Q_{a\lim}, Q_{\text{évac}})$ [€].

Le coût du gainage sera égal au coût cumulé des gainages d'alimentation et d'extraction

$$= 2 * 12 * 4 * \sqrt{\frac{\max(Q_{a\lim}, Q_{\text{évac}})}{3,6}}$$

Et le coût des bouches d'alimentation et d'extraction sera = $50 \text{ [€/pce]} * (N + 8)$

→ Le coût de la récupération de chaleur, sans les OT =

$$= 50 * (N + 8) + 2 * 12 * 4 * \sqrt{\frac{\max(Q_{a \text{ lim}}, Q_{\text{évac}})}{3,6}} + 10 * \max(Q_{a \text{ lim}}, Q_{\text{évac}}) \quad [\text{€}]$$

SUPPLÉMENT : un coût forfaitaire supplémentaire va être attribué aux systèmes de ventilation mécaniques. En cause, les éléments complémentaires nécessaires, non pris en compte jusqu'à présent :

- Gains techniques pour dissimuler les tuyaux ;
- Evacuation des condensats pour le récupérateur ;
- Raccords, filtres, atténuateurs de bruit, accessoires...

Les forfaits proposés sont évalués à 200 € pour les systèmes partiellement mécanisés (B et C), 400 € pour un système D sans récupérateur et 500 € pour un système D avec récupérateur de chaleur.

Afin de valider les prix proposés, une comparaison a été réalisée sur base de la maison « témoin », déjà utilisée dans d'autres études telles que celle de CALE.

comparaison : maison témoin					
Nombre d'occupants	4 personnes				
Surface de plancher chauffé	178 m ²				
hauteur de cheminée par rapport au rez-de-chaussée	7.55 m				
hauteur moyenne de la zone 1	2.44 m				
alimentation selon la NBN D 50-001 :	280 m ³ /h, soit	77.78 m ² de surface "ventilée"			
extraction selon la NBN D 50-001 :	225 m ³ /h, soit	62.5 m ² de surface "ventilée"			
Prix, en €, des différents postes	système A	système B	système C	système D	système D+
OAR	480	0	480	0	0
OER	743.96	743.96	0	0	0
OT	550	550	550	550	550
OAM	0	400	0	400	400
OEM	0	0	200	200	200
gainage	0	423.32	379.47	846.64	846.64
ventilateur d'alimentation	0	280	0	280	0
ventilateur d'extraction	0	0	225	225	0
récupérateur de chaleur	0	0	0	0	2800
forfait supplémentaire (pièces, filtres, ...)	0	200	200	400	500
TOTAL	1773.96	2597.28	2034.47	2901.64	5296.64
prix CALE	3280	3280	3280	S.O.	8238

Fig. 10 : Comparaison des prix des systèmes de ventilation pour la maison témoin

Il a été admis que les coûts annoncés dans l'action CALE sont trop élevés. Il nous fallait donc atteindre un coût plus raisonnable, plus proche de la réalité.

Pour information, les coûts annoncés par le catalogue UPA/BUA 2009 pour des systèmes de ventilation complets dans une maison résidentielle type sont :

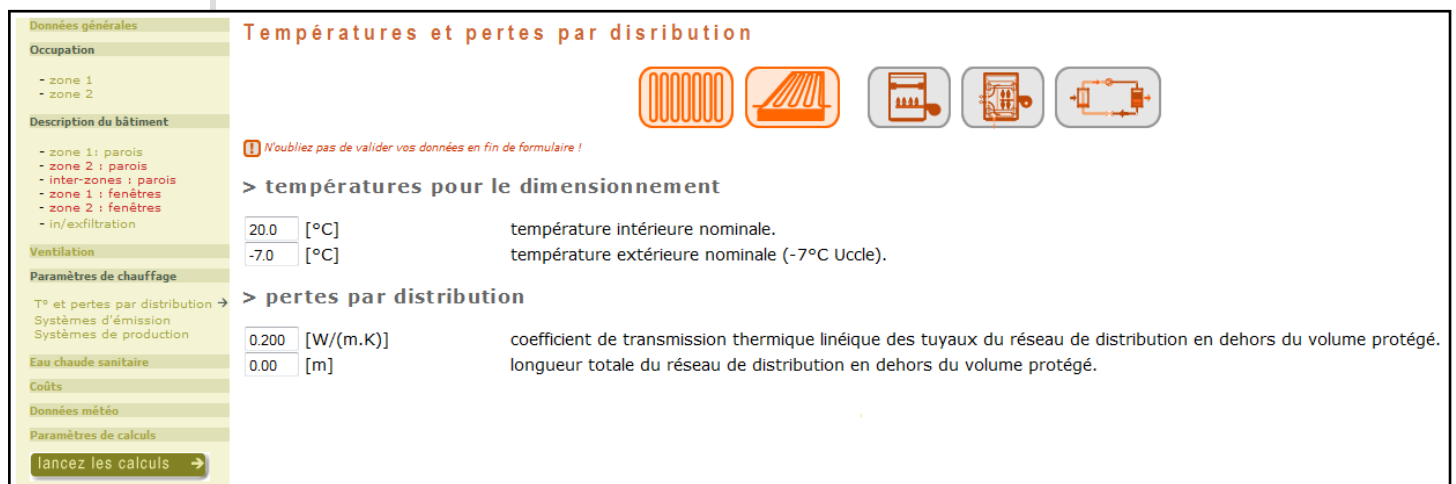
- Système A : entre 1 530 et 2 050 € (moyenne : 1 790 €) ;
- Système B : entre 2 295 et 2 716 € (moyenne : 2 505 €) ;
- Système C : entre 2 397 et 2 818 € (moyenne : 2 607,5 €) ;
- Système D sans échangeur : entre 3 150 et 3 321 € (moyenne : 3 235,5 €) ;
- Système D avec échangeur : entre 5 304 et 5 740 € (moyenne : 5 522 €).

3.4. Système de chauffage

La philosophie utilisée dans le calcul du coût des systèmes de chauffage est sensiblement la même que celle utilisée pour la ventilation : il s'agit de partir de données disponibles sur Internet (site SISAL et données des fabricants), et de poser des hypothèses pour évaluer le prix des éléments pour lesquels les renseignements se révèlent lacunaires.

3.4.1. Données

Le Site Internet SISAL nous fournit, pour évaluer les prix, les paramètres suivants :



Températures et pertes par distribution

N'oubliez pas de valider vos données en fin de formulaire !

> températures pour le dimensionnement

20.0 [°C] température intérieure nominale.
-7.0 [°C] température extérieure nominale (-7°C Uccle).

> pertes par distribution

0.200 [W/(m.K)] coefficient de transmission thermique linéique des tuyaux du réseau de distribution en dehors du volume protégé.
0.00 [m] longueur totale du réseau de distribution en dehors du volume protégé.

Fig. 11 : Capture d'écran du site Internet SISAL : T° et pertes par distribution

Les températures de dimensionnement ne sont pas des paramètres indispensables pour évaluer les coûts (elles sont d'ailleurs rarement indiquées). Par contre, la longueur des conduites hors V_p est utile : nous donnerons plus bas un coût pour ces réseaux de tuyaux.



Systèmes d'émission

N'oubliez pas de valider vos données en fin de formulaire !

☒ radiateurs.
☐ chauffage par le sol.
☐ pompe à chaleur (air-air) (système d'émission et de production).

Les radiateurs

Si vous avez choisi la chaudière à condensation, la pompe à chaleur sol-eau ou la pompe à chaleur air-eau comme système de production de chaleur, il faut fortement surdimensionner les radiateurs.

1.30 [-] facteur de surdimensionnement des radiateurs.
80.0 [°C] température d'entrée dans les radiateurs en conditions nominales.
60.0 [°C] température de sortie dans les radiateurs en conditions nominales.
20.0 [°C] température de consigne de chauffage, de confort en période d'occupation de la zone 1.
15.0 [°C] température de consigne de chauffage, en période d'inoccupation de la zone 1.
20.0 [°C] température de consigne de chauffage, de confort en période d'occupation de la zone 2.
15.0 [°C] température de consigne de chauffage, en période d'inoccupation de la zone 2.

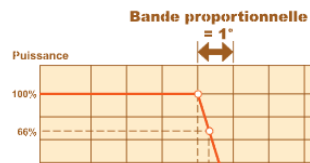
> régulation centrale

- ☐ vanne 3 voies avec sonde extérieure et sonde intérieure.
- ☐ vanne 3 voies avec sonde extérieure.
- ☒ thermostat de zone.
- ☐ pas de régulation centrale.

zone 1
2.00 [°C]

Dans quelle zone se trouve le thermostat?

bande proportionnelle de régulation relative au thermostat.



> régulation locale par vannes thermostatiques

Y a-t-il des vannes thermostatiques ?

- ☒ oui.
- ☐ non.

2.00 [°C]

bande proportionnelle de régulation des vannes thermostatiques.

Fig. 12 : Capture d'écran du site Internet SISAL – Systèmes d'émission (radiateurs)

Cet écran nous amène lui aussi son lot de paramètres importants et moins importants, en ce qui concerne les coûts.

Bien évidemment, le système d'émission considéré (un seul pour le bâtiment) est primordial. Suivant le système choisi, les questions posées à l'utilisateur du site varient.

D'une manière générale, comme pour le dimensionnement de l'appareil producteur de chaleur, les températures de consigne ou les températures d'entrée ou de sortie de l'eau dans les radiateurs n'interviendront pas dans la recherche des coûts. Par contre, le renseignement sur le type de régulation et la présence ou non de vannes thermostatiques sur les radiateurs sera exploité.

Données générales

Occupation

- zone 1
- zone 2

Description du bâtiment

- zone 1 : parois
- zone 2 : parois
- inter-zones : parois
- zone 1 : fenêtres
- zone 2 : fenêtres
- in/exfiltration

Ventilation

Paramètres de chauffage

T° et pertes par distribution

Systèmes d'émission →

Systèmes de production

Eau chaude sanitaire

Coûts

Données météo

Paramètres de calculs

lancez les calculs →

Systèmes d'émission







! N'oubliez pas de valider vos données en fin de formulaire !

- ☐ radiateurs.
- ☒ chauffage par le sol.
- ☐ pompe à chaleur (air-air) (système d'émission et de production).

Le chauffage par le sol

> type de chauffage par le sol

- ☒ plancher lourd.
- ☐ plancher léger.

> type de revêtement pour le sol

- ☒ carrelage.
- ☐ PVC.
- ☐ parquet.
- ☐ tapis plein peu épais.
- ☐ tapis plein épais.

0.100	[m]	épaisseur de la dalle comprenant les serpents.
0.00	[-]	pourcentage de plancher chauffant pour la zone 1 par rapport à la surface totale de plancher de la zone 1.
0.00	[-]	pourcentage de plancher chauffant pour la zone 2 par rapport à la surface totale de plancher de la zone 2.
1.20	[-]	facteur de surdimensionnement du plancher chauffant.
40.0	[°C]	température d'entrée du plancher chauffant en conditions nominales.
32.0	[°C]	température de sortie du plancher chauffant en conditions nominales.
0.0	[°C]	température de consigne de chauffage, de confort en période d'occupation de la zone 1.
0.0	[°C]	température de consigne de chauffage, en période d'inoccupation de la zone 1.
0.0	[°C]	température de consigne de chauffage, de confort en période d'occupation de la zone 2.
0.0	[°C]	température de consigne de chauffage, en période d'inoccupation de la zone 2.

> régulation centrale

- ☐ vanne 3 voies avec sonde extérieure et sonde intérieure.
☐ vanne 3 voies avec sonde extérieure.

0.00 [-] autorité de la sonde extérieure.






Fig. 13 : Capture d'écran du site Internet SISAL – Systèmes d'émission (chauffage par le sol)

Les seules données concernant le chauffage par le sol que nous pourrions utiliser sont les suivantes :

- Pourcentage de plancher chauffant par rapport à la surface totale de plancher (pour chaque zone) : un plancher chauffant apporte évidemment un surcoût qu'il faudra quantifier. Le prix du plancher normal est donné par ailleurs (voir la partie « parois »), et l'on connaît sa surface totale (qu'elle soit une paroi déperditive ou non), à laquelle il suffit d'appliquer les pourcentages demandés pour obtenir la surface totale de plancher chauffant.
- Épaisseur de la dalle comprenant les serpents : cette donnée par défaut pouvant être modifiée par l'utilisateur, nous avons dû nous baser sur celle-ci pour quantifier le coût.
- Régulation centrale, de la même manière que pour des radiateurs.

Données générales
Occupation
- zone 1
- zone 2
Description du bâtiment
- zone 1 : parois
- zone 2 : parois
- inter-zones : parois
- zone 1 : fenêtres
- zone 2 : fenêtres
- in/exfiltration
Ventilation
Paramètres de chauffage
T° et pertes par distribution
Systèmes d'émission →
Systèmes de production
Eau chaude sanitaire
Coûts
Données météo
Paramètres de calculs
lancez les calculs →

Systèmes d'émission

N'oubliez pas de valider vos données en fin de formulaire !

☐ radiateurs.
☐ chauffage par le sol.
☒ pompe à chaleur (air-air) (système d'émission et de production).

La pompe à chaleur (air-air)

☒ puissance calculée par le logiciel.
☐ puissance introduite par l'utilisateur.

1.2 [-] facteur de surdimensionnement de la pompe à chaleur.

☐ puissance calculée par le logiciel.
☐ puissance introduite par l'utilisateur.

20 [°C] température de consigne de chauffage, de confort en période d'occupation de la zone 1.
15 [°C] température de consigne de chauffage, en période d'inoccupation de la zone 1.
20 [°C] température de consigne de chauffage, de confort en période d'occupation de la zone 2.
15 [°C] température de consigne de chauffage, en période d'inoccupation de la zone 2.
2 [°C] bande proportionnelle zone 1.
2 [°C] bande proportionnelle zone 2.

La pompe à chaleur est-elle réversible ?

☒ oui.
☐ non.

25 [°C] température de consigne de refroidissement, de confort en période d'occupation de la zone 1.
 35 [°C] température de consigne de refroidissement, en période d'inoccupation de la zone 1.
 25 [°C] température de consigne de refroidissement, de confort en période d'occupation de la zone 2.
 35 [°C] température de consigne de refroidissement, en période d'inoccupation de la zone 2.

grande vitesse du ventilateur (côté intérieur).

COP = 3.7 pour une température extérieure de 7°C et une température intérieure de 22°C. La puissance au condenseur pour ces températures est de 2600 W par unité.

Fig. 14 : Capture d'écran du site Internet SISAL – Systèmes d'émission (PAC air-air)

La pompe à chaleur air-air est à la fois un système de production et un système d'émission... C'est la raison pour laquelle la puissance, qu'elle soit introduite par le l'utilisateur ou calculée par le logiciel, est requise et importante, de même que son potentiel caractère réversible. Ce sont là les deux paramètres importants pour l'évaluation d'un coût.

Systèmes de production

Données générales

Occupation

- zone 1
- zone 2

Description du bâtiment

- zone 1 : parois
- zone 2 : parois
- inter-zones : parois
- zone 1 : fenêtres
- zone 2 : fenêtres
- in/exfiltration

Ventilation

Paramètres de chauffage

T° et pertes par distribution
 Systèmes d'émission
 Systèmes de production →

Eau chaude sanitaire

Coûts

Données météo

Paramètres de calculs

lancez les calculs →

La chaudière conventionnelle

☒ puissance calculée par le logiciel
☐ puissance introduite par l'utilisateur

2 [-] facteur de surdimensionnement de la chaudière.

0.932 [-] rendement à 30 % de charge sur PCI.
 80 [°C] température de l'aquastat.

Chaudière au mazout ou au gaz ?

☒ mazout
☐ gaz

La chaudière est-elle maintenue en température ?

☒ oui
☐ non






Les pertes d'entretien sont fixées à 1,2%.

Fig. 15 : Capture d'écran du site Internet SISAL – Systèmes de production (chaudière conventionnelle)

En ce qui concerne les systèmes de production de chaleur de type « chaudière conventionnelle (c'est-à-dire sans recours à la technologie de la condensation), faisant appel à des bases de données de chaudières neuves, le rendement de celles-ci ne pèse que peu sur le prix final : nous n'en tenons pas compte. À l'instar des pompes à chaleur, la puissance est par contre un paramètre primordial.

Données générales
Occupation
- zone 1
- zone 2
Description du bâtiment
- zone 1 : parois
- zone 2 : parois
- inter-zones : parois
- zone 1 : fenêtres
- zone 2 : fenêtres
- in/exfiltration
Ventilation
Paramètres de chauffage
T° et pertes par distribution
Systèmes d'émission
Systèmes de production →
Eau chaude sanitaire
Coûts
Données météo
Paramètres de calculs
lancez les calculs →

Systèmes de production

N'oubliez pas de valider vos données en fin de formulaire !

Veuillez compléter le formulaire systèmes d'émission avant celui-ci

☐ chaudière conventionnelle.
☒ chaudière à condensation.
☐ pompe à chaleur (sol-eau).
☐ pompe à chaleur (air-eau).

La chaudière à condensation

☒ puissance calculée par le logiciel
☐ puissance introduite par l'utilisateur

1.20 [-] facteur de surdimensionnement de la chaudière.

1.050 [-] rendement total à 30 % de la chaudière (y compris la condensation).
30.0 [°C] température de retour correspondant au rendement à 30 %.
50.00 [°C] température de l'aquastat.


Chaudière au mazout ou au gaz ?
☐ mazout
☒ gaz
La chaudière est-elle maintenue en température ?
☒ oui
☐ non
Les pertes d'entretien sont fixées à 1,2%.
En choisissant cette chaudière, il faut fortement surdimensionner les radiateurs.


Fig. 16 : Capture d'écran du site Internet SISAL – Systèmes de production (chaudière à condensation)

Les données sont identiques à celles nécessaires pour les chaudières conventionnelles.

Données générales
Occupation
- zone 1
- zone 2
Description du bâtiment
- zone 1 : parois
- zone 2 : parois
- inter-zones : parois
- zone 1 : fenêtres
- zone 2 : fenêtres
- in/exfiltration
Ventilation
Paramètres de chauffage
T° et pertes par distribution
Systèmes d'émission
Systèmes de production →
Eau chaude sanitaire
Coûts
Données météo
Paramètres de calculs
lancez les calculs →

Systèmes de production




N'oubliez pas de valider vos données en fin de formulaire !

Veuillez compléter le formulaire systèmes d'émission avant celui-ci

☐ chaudière conventionnelle.
☐ chaudière à condensation.
☒ pompe à chaleur (sol-eau).
☐ pompe à chaleur (air-eau).

La pompe à chaleur (sol - eau, évaporateur alimenté en eau)

☒ puissance calculée par le logiciel
☐ puissance introduite par l'utilisateur

1.2 [-] facteur de surdimensionnement de la pompe à chaleur.

Type de l'échangeur
☒ horizontal
☐ vertical

500 [m²] surface de l'échangeur.

En conditions nominales : 0°C à l'entrée de l'évaporateur et 35°C à la sortie du condenseur. Température maximale à la sortie du condenseur = 55°C.

55 [°C]

température maximale à la sortie du condenseur.

4.5 [-]

coefficient de performance de la pompe à chaleur eau glycolée - eau (30 % de glycol).

Stockage d'eau chaude pour le chauffage

- ☒ volume de stockage calculé par le logiciel
- ☐ volume de stockage introduit par l'utilisateur
- ☒ chargement de stockage étagé
- ☐ chargement de stockage par stratification

Fig. 17 : Capture d'écran du site Internet SISAL – Systèmes de production (PAC sol-eau)

Les échangeurs géothermiques représentent un coût important dans l'installation d'une pompe à chaleur : ils peuvent être horizontaux (enterrés à faible profondeur, leur surface est le paramètre nécessaire et suffisant) ou verticaux (qui requièrent un forage en profondeur dont la longueur multipliée par le nombre de forages influencera le coût).

Une pompe à chaleur sol-eau nécessite également un volume de stockage, parfois important. Sa capacité (en litres) en sera le paramètre du coût.

Évidemment, la puissance (mais pas le COP) influencera le prix également.

Dans le cas d'une pompe à chaleur air-eau, les paramètres sont identiques à l'exception des forages, non réalisés dans ce cas.

3.4.2. Coût

L'évaluation des coûts relatifs aux systèmes de chauffage s'est faite principalement grâce à la compilation d'un assez grand nombre de prix, répartis en chaudières, pompes à chaleur, technologie... Ces données collectées principalement sur Internet (www.viessmann.be, www.dimit.fr, www.chauffage-systeme.fr) ont ensuite été recoupées avec celles issues des anciennes études réalisées (CALE, étude économique de l'UMons) et des mercuriales des prix « Je Vais Construire » et « UPA/BUA 2009 ».

3.4.2.1. Chaudières

Les installations de chauffage dont une chaudière est l'élément producteur (principal) représentent une grande majorité des cas. Nous devons donc évaluer un coût pour des chaudières fonctionnant au mazout ou au gaz, et utilisant les technologies « basse température » ou « condensation »

Remarquons de suite que les solutions de bivalence (utilisation de plusieurs systèmes de production, l'un ayant priorité sur l'autre pour la production) ne sont pas rencontrées, de même que la cogénération ou l'utilisation de la biomasse comme vecteur énergétique.

Les sources de type « fabricant » ne renseignent plus de prix pour des chaudières fonctionnant uniquement à haute température, ce qui tend à confirmer le recours systématique aux technologies « basse température » et « condensation ». Les

chaudières décrites comme « conventionnelles » par l'équipe SISAL seront donc des chaudières « basse température ». Plus encore, les seules chaudières gaz proposées par les fabricants fonctionnent uniquement avec la technologie de la condensation, maître choix performantiel et économique pour ceux qui utilisent ce vecteur énergétique. L'évaluation du coût d'une chaudière « conventionnelle au gaz » ne tiendra donc pas compte de données fabricants.

Le seul paramètre retenu pour les coûts sera la puissance, donnée par l'utilisateur ou calculée par le logiciel. Les coûts de toutes les chaudières obtenus sur Internet ou dans les autres sources retenues seront divisés par la puissance mentionnée (ou la puissance maximale renseignée par la plage de puissance couverte). Les résultats obtenus sont compilés sur un graphique, dont une courbe de tendance nous donne une première idée de la formule à considérer pour obtenir un prix, quelle que soit la puissance souhaitée.

L'on remarque, en général, que l'évolution des coûts des systèmes de production tend à ralentir lorsque l'on atteint des puissances élevées, comme le montre l'image ci-dessous, reprenant le prix moyen d'une pompe à chaleur en fonction de la puissance de son compresseur [source : Energie+] :

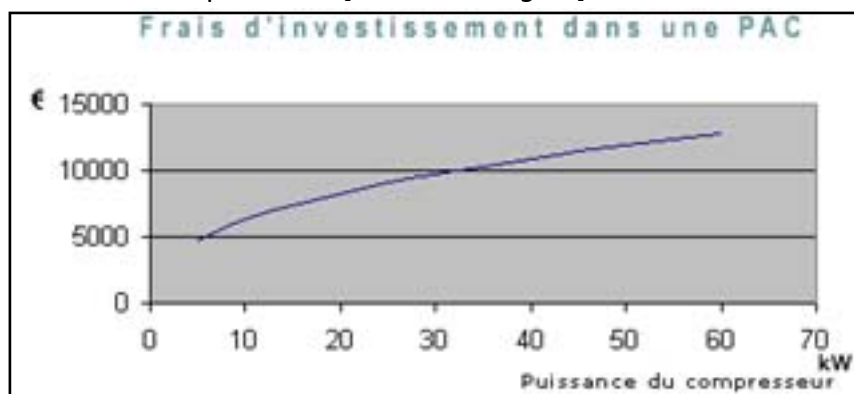


Fig. 18 : Prix moyen d'une PAC en fonction de la puissance du compresseur

Les courbes de tendance dégagées des données sources seront donc généralement des courbes logarithmiques, afin de respecter ce phénomène.

En ce qui concerne les chaudières, nous avons pris en compte dès le départ la possibilité que l'élément producteur de chaleur soit également celui qui fournit l'eau chaude sanitaire, mais cela n'est pas systématiquement le cas. Nous avons donc orienté notre recherche pour tenter de différencier les prix : appareils dédiés au chauffage uniquement d'un côté, appareils « complets (chauffage + ECS) de l'autre. Malheureusement, cette distinction ne se trouve pas toujours dans la littérature :

		UPA09	JVC05/06
chaudière mazout, corps acier, 24 kW	min (€)	1845	1488.24
	max (€)	2850	2141.62
	moyenne (€)	2347.5	1814.93
chaudière mazout, corps fonte, 24 kW	min (€)	2460	1805.2
	max (€)	3308	2654.71
	moyenne (€)	2884	2229.955
	moy des moy (€)	2615.75	2022.4425

Fig. 19 : Prix proposés par l'UPA 2009 et Je Vais Construire 05/06 pour les chaudières

Dans ces cas particuliers, la distinction ne porte même pas sur la technologie

employée (basse température ou condensation, bien que la gamme de prix nous dirige naturellement vers la première).

De même, les études de référence (CALE, UMonS) ne montrent aucune distinction de prix entre des chaudières pour le chauffage uniquement et pour la combinaison chauffage et ECS. Faut-il y voir que la prise en charge de l'eau chaude sanitaire par l'élément producteur de chaleur n'entraîne aucune hausse significative des prix ? Certaines autres sources (le logiciel EC Estimation, les sites Internet www.climit.fr, www.viessmann.be) indiquent, dans le descriptif des systèmes si l'appareil produit également l'ECS ou non.

Les analyses complémentaires que nous avons effectuées sur les données nous ont permis de faire un choix : les coûts que nous donnons pour les chaudières ne prennent pas en compte la production d'ECS, qui sera considérée par ailleurs. Ainsi, par exemple, les différences de coûts que nous rencontrons dans la littérature nous permettent d'extrapoler le coût d'un boiler intégré.

Nous devons également préciser une hypothèse complémentaire : l'élimination des valeurs extrêmes. Chaque coût considéré dans notre base de données a été mis en relation avec la puissance maximale déployée par l'appareil, afin de le ramener à un « coût au kW ». Ces valeurs ont ensuite été moyennées par catégorie (en gardant les distinctions gaz / mazout, basse température / condensation...), et les coûts qui s'éloignaient de cette moyenne de façon trop importante (et de toute façon ceux qui s'en éloignaient de plus de 50%) ont été éliminés de la base de données. La raison de cette élimination est de trouver une certaine « stabilité » dans les courbes de tendance que nous dégagons des graphiques : les valeurs extrêmes affectent les moyennes de façon trop importante, alors qu'elles présentent de toute évidence un écart important par rapport au coût moyen des systèmes considérés.

La valeur de 50% a été choisie en analysant les données : le but de la manœuvre n'était pas non plus d'éliminer trop de données ou de ne garder que la valeur moyenne de coût au kW déployé.

Chaudière gaz basse température

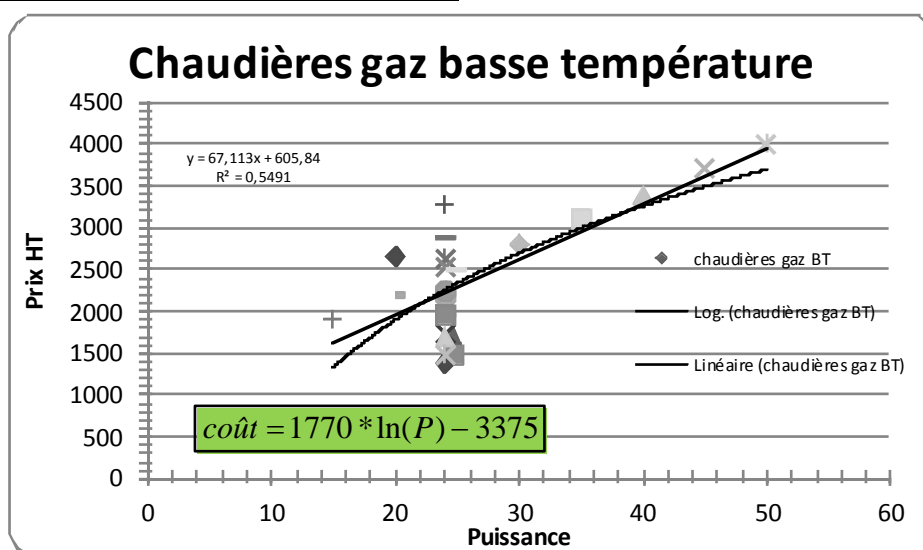


Fig. 20 : Résultat proposé pour les chaudières gaz basse température avec P = puissance (maximale en cas de plage de puissance) de l'élément producteur de chaleur

Chaudière gaz condensation

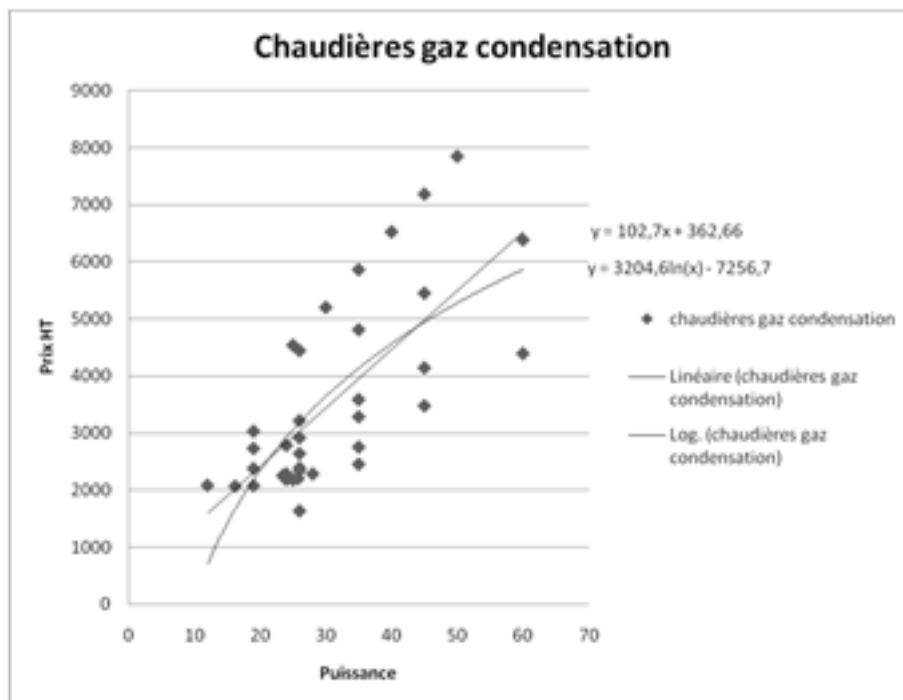


Fig. 21 : résultat proposé pour les chaudières gaz à condensation avec P = puissance (maximale en cas de plage de puissance) de l'élément producteur de chaleur

Chaudière fioul basse température

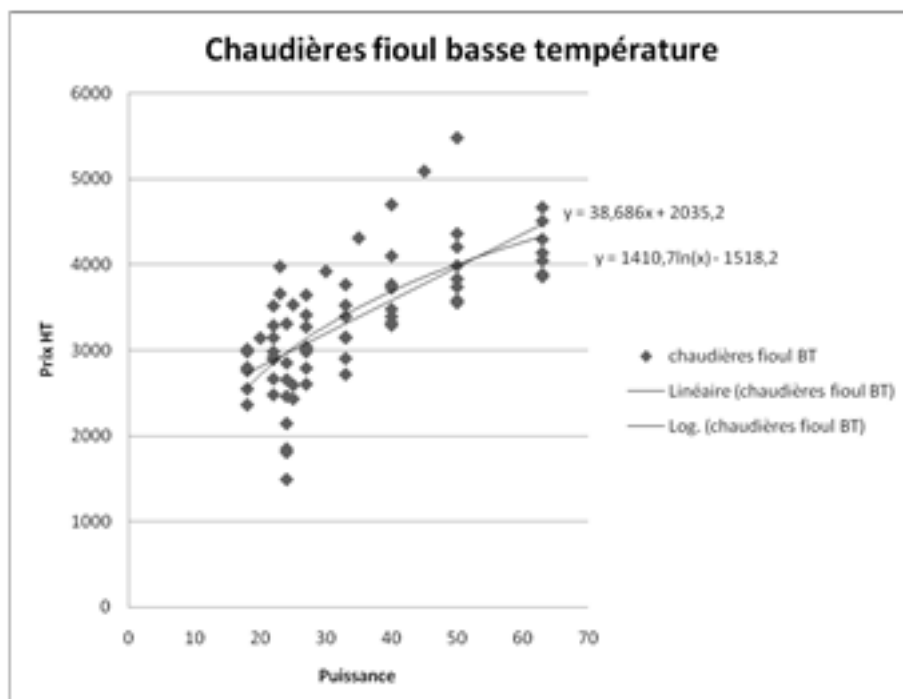


Fig. 22 : résultat proposé pour les chaudières fioul basse température avec P = puissance (maximale en cas de plage de puissance) de l'élément producteur de chaleur

Chaudières fioul condensation

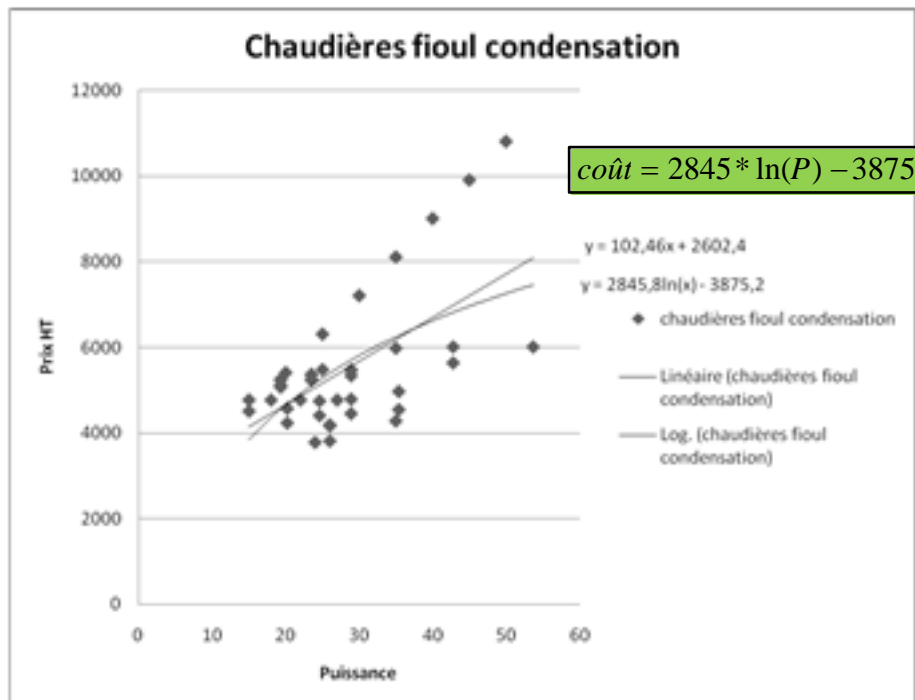


Fig. 23 : résultat proposé pour les chaudières fioul à condensation avec P = puissance (maximale en cas de plage de puissance) de l'élément producteur de chaleur

3.4.2.2. Pompes à chaleur

Cette technologie, plus récente sur le marché de l'énergie, est en général recommandée pour des puissances relativement basses. Il est en effet assez rare de placer une PAC de plus de 30 kW pour une utilisation résidentielle : c'est pourquoi nous ne tiendront compte que des puissances inférieures à 30 kW.

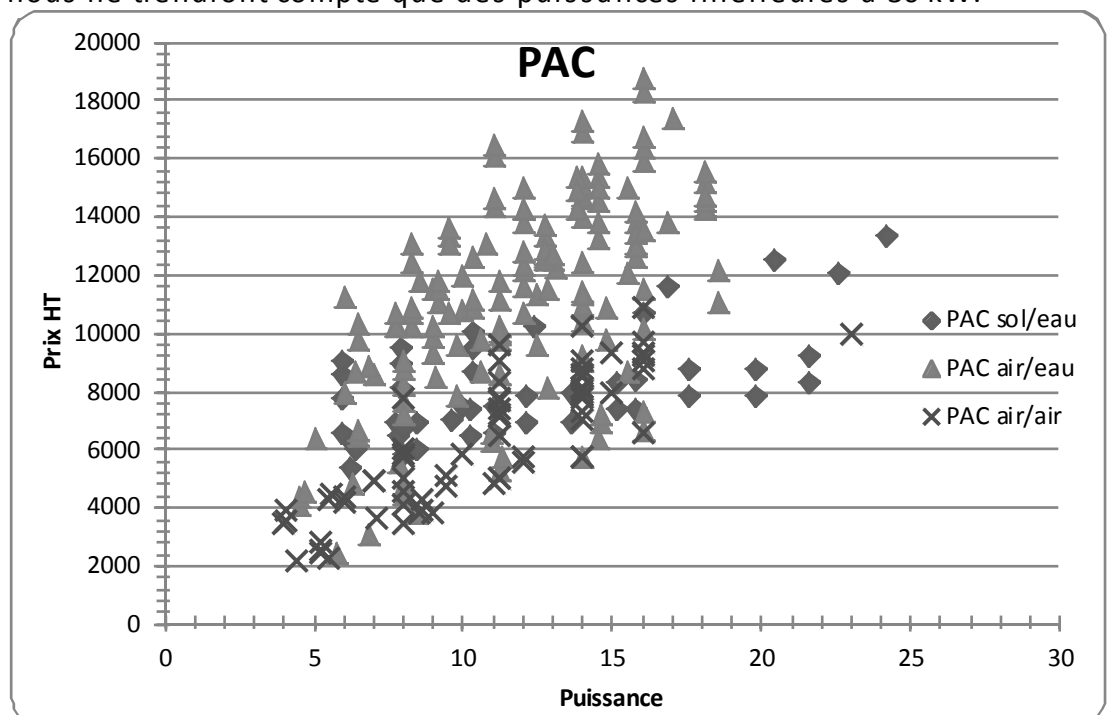


Fig. 24 : Compilation des coûts « pompes à chaleur »

Le graphique ci-dessus montre une dispersion importante des coûts pour les pompes à chaleur. Par exemple, toutes technologies confondues, pour une puissance de 16 kW, on peut trouver des PAC entre 6.500 et 18.500 euros. Nous ne pouvons donc établir une seule formule de coût, et devons distinguer les technologies employées. Par exemple, les PAC air/eau (▲ sur la fig. 24) affichent un coût plus élevé que les autres. En moyenne, les PAC air/air (× sur la fig. 24), souvent affublées d'un COP moindre (mais dotées de la capacité d'inversion, permettant ainsi autant la climatisation en été que le chauffage en hiver) sont généralement moins chères.

Les PAC géothermiques fonctionnent avec des échangeurs qui peuvent être horizontaux ou verticaux. La longueur des échangeurs est un paramètre, dans le sens où l'utilisateur est libre de garder les valeurs par défaut ou d'encoder la valeur souhaitée. Les coûts à donner devront donc uniquement être fonction des deux variables que sont la longueur des puits (échangeurs verticaux) et la surface d'échange (échangeur verticaux).

« [Les capteurs horizontaux] sont enterrés soit dans des tranchées de 0,6 m à 1,2 m de profondeur [...]. Ceux-ci requièrent des surfaces de terrain de l'ordre de 1,5 fois la surface de la maison à chauffer. Par exemple, pour un générateur de 7 kW thermique, le capteur horizontal est constitué de 12 boucles de 50 m de tube polyéthylène, installées dans 6 tranchées de 25 m de longueur, à raison d'une boucle placée à 0,6 m de profondeur et une autre placée à 1,2 m de profondeur. »

Source : J. BERNIER, *La pompe à chaleur*, 2004, Editions PYC Livres, p.141

L'utilisateur nous renseigne, pour des échangeurs horizontaux, la surface totale d'échange (avec une valeur par défaut de 500 m², ce qui est assez élevé ; la littérature renseigne une surface moyenne d'échange comprise entre 1.5 et 2 fois la surface de plancher chauffé de l'habitation ; 300 m² sont donc en général suffisants pour une habitation « standard »). En moyenne, il existe une proportion de 3 entre la surface d'échange et la longueur des sondes (ces 300 m² abritent donc 900 m de tuyaux, par exemple 18 boucles de 50 m enterrées à 0,6 et 1,2 m de profondeur dans 9 tranchées de 0.6 m de large et 25 m de long, espacées au minimum de 0.6 m). Le coût des déblais et terrassements dépend du type de sol en présence ; c'est pourquoi nous devons moyenner les prix obtenus dans les références : nous obtenons ainsi 60 €/m³. 1 m d'une tranchée, dans laquelle selon nos hypothèses nous plaçons 4 m de sondes, coûte donc $0,6 \times 1,2 \times 60 = 43,2$ €. En y ajoutant le coût des sondes, accessoires et remblais, nous obtenons un prix par m de tranchée de 72 €, soit **18 €/mct de sonde, soit 54 €/m² de surface d'échange**

Les échangeurs verticaux coûtent plus chers, étant donné les forages nécessaires : on parle ici de puits forés dans la terre ou la roche, dans lesquels on introduit des épingles en polyéthylène, spécifiques pour la géothermie, reliées via un collecteur à la pompe à chaleur. Les différentes sources mentionnent un coût variant entre 50 et 90 €/mct suivant le type de sol (pour une moyenne qui semble se situer aux environs de **60 €/mct de forage**). Ce coût comprend le forage et le placement des sondes et accessoires.

Pompe à chaleur sol/air

Voici un graphique reprenant tous les coûts relevés pour ce type de PAC :

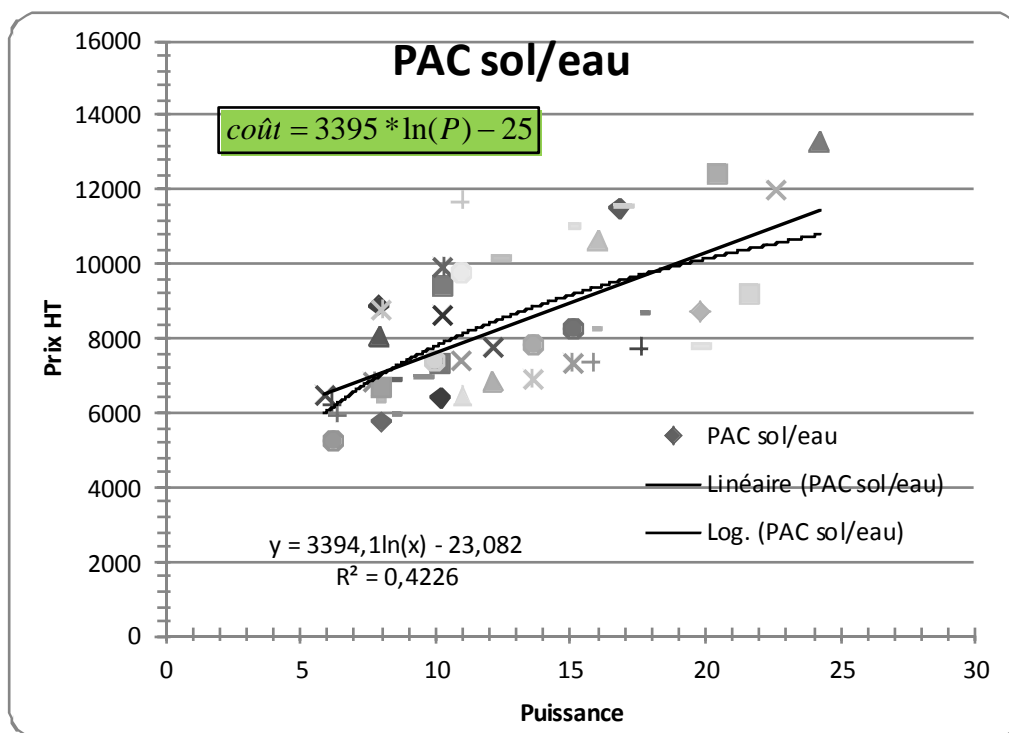


Fig. 25 : Compilation des coûts « pompes à chaleur sol/eau »

Bien sûr, ce coût ne concerne que l'élément producteur de chaleur, sans les capteurs dont nous avons donné le coût ci-dessus, ni les systèmes de distribution, d'émission ou de régulation qui seront donnés par la suite.

Pompe à chaleur air/eau

Dans le cas des pompes air/eau, les forages ou échangeurs ne sont bien sûr plus nécessaires.

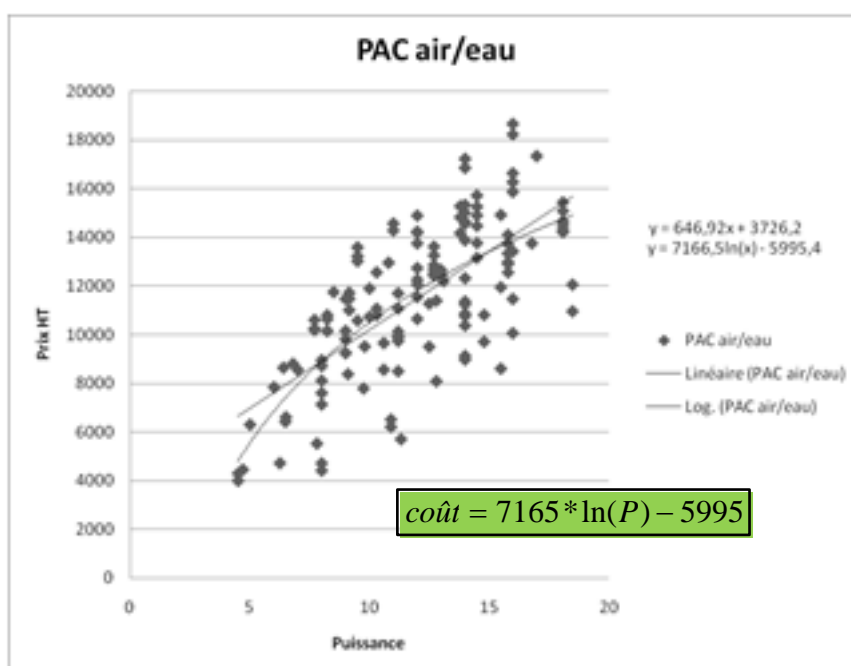


Fig. 25 : Compilation des coûts « pompes à chaleur air/eau »

Pompe à chaleur air/air

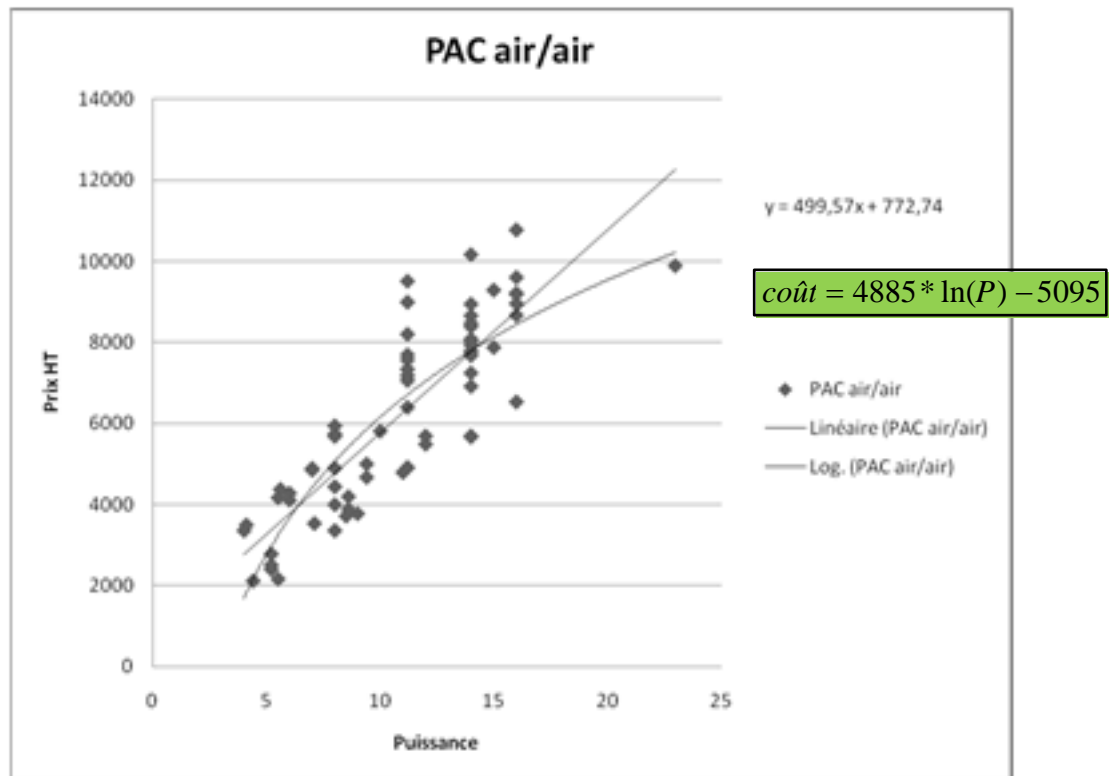


Fig. 26 : Compilation des coûts « pompes à chaleur air/air »

3.4.2.3. Systèmes d'émission

Chacun de ces systèmes de production de chaleur est raccordé à un système d'émission : plancher chauffant et radiateurs sont les deux options proposées par le logiciel.

Radiateurs : afin d'évaluer le coût d'un radiateur, nous avons opéré comme pour les PAC et les chaudières : en compilant les coûts trouvés dans les références.

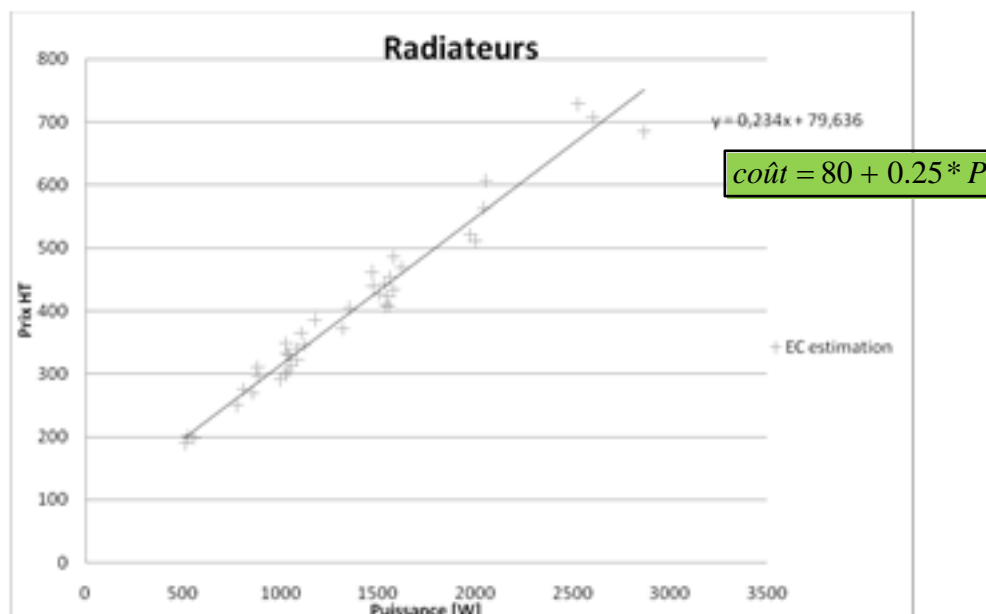


Fig. 26 : Compilation des coûts « radiateurs »

Les données encodées montrent une progression quasi arithmétique des coûts en fonction de la puissance des radiateurs. La droite des tendances est donc sans équivoque et affiche un coût fixe (80 €) et un coût variable (0,25 €/W).

À l'instar des éléments constituant le système de ventilation, nous pouvons considérer un nombre total de radiateurs = $N + 8$ (N étant le nombre d'occupants dans le logement). La puissance de chacun de ces radiateurs n'étant pas calculée, la puissance totale de chauffe doit être divisée par ce nombre de radiateurs afin d'obtenir une puissance moyenne. Le coût sera donné en fonction de cette puissance individuelle.

Planchers chauffants :

Le coût que nous allons donner ici est un « surcoût » par rapport au coût des planchers donnés dans la section « enveloppe ». Ce surcoût doit comprendre l'isolation thermique supplémentaire, la chape (dont l'épaisseur est un paramètre donné par l'utilisateur, avec une valeur par défaut de 10 cm), les tuyaux de chauffage et la main d'œuvre. Le pourcentage de plancher chauffant par rapport à la surface totale de plancher (pour chaque zone) permet d'obtenir la surface à laquelle appliquer ce surcoût.

EC Estimation nous renseigne un coût de 87 €/m² pour le chauffage par le sol basse température, avec le descriptif suivant : « la prestation comprend la pose de tubes PER 16 x 20 mm au pas de 20, compris chape, dalles d'isolation, isolation périphérique, et enrobage. Les collecteurs sous armoire sont à prendre en supplément. Ils comprennent le kit assemblé des raccords et sonde de commande à distance (longueur 5 mètres). »

Suivant le nombre de boudes, les collecteurs en question coûtent entre 220 et 530 €.

Si l'on décompose le prix en fonction des différents postes :

- Tubes : 1.82 €/mct pour du Ø 20 mm ; avec un entraxe de 20 cm, cela donne une moyenne de 5 m de tuyaux par m² de plancher ce qui, avec un léger surplus pour les coudes, donne un prix moyen de 10 €/m² ;
- Adjuvant pour béton : 7 €/m² ;
- Enrobage des tubes de chauffage : 15 €/m² ;
- L'isolant utilisé ne peut être n'importe lequel ; pour preuve, son utilisation en chape et le poids qu'il doit reprendre. Son épaisseur diffère selon les planchers et leur environnement ; la norme NBN EN 1264-4 prévoit :
 - Pour un plancher sur l'extérieur, ou sur un vide-ventilé, une résistance de 2 m²K/W est requise, ce qui représente 8 cm d'un isolant avec une valeur λ de 0,04 W/mK. L'on peut également trouver un isolant en polystyrène expansé de 6 cm d'épaisseur qui répond aux exigences de la norme pour 20 €/m², en ce compris un surplus pour l'isolation périphérique de la chape flottante.
 - Pour un plancher sur caves (EANC à l'abri du gel), une résistance de 1,25 m²K/W est requise, soit 5 cm d'un isolant qui garantit une valeur λ de 0,04 W/mK. Nous obtenons en moyenne 12 €/m².
 - Un plancher sur un local chauffé (plancher mitoyen pour les

appartements, ou plancher de la zone 2 lorsqu'elle est au-dessus de la zone 1) ne demande « que » 3 cm d'isolant pour atteindre une résistance minimale de $0,75 \text{ m}^2\text{K/W}$, pour un prix moyen de 8 €/m^2 .

- La chape en béton maigre coûte en moyenne 12 €/m^2 ;
- Les accessoires (cavaliers de fixation, treillis, membranes) s'ajoutent à ce total, que nous devons évidemment encore additionner au prix du plancher « de base ».

Les coûts totaux pour les planchers chauffants sont les suivants :

- Plancher sur l'extérieur ou un vide-ventilé : 72 €/m^2
- Plancher sur cave : 64 €/m^2
- Plancher sur espace chauffé : 60 €/m^2 .

A ces coûts peut être ajoutée une composante fixe, comprenant entre autres les collecteurs, connecteurs..., ce qui représente, en moyenne, 500 €/habitation .

3.4.2.4. Autres

D'autres éléments doivent être ajoutés à la liste des coûts susmentionnés :

- Le système de distribution comprend des tuyaux isolés, et d'autres non isolés. Si l'on analyse la situation avec le même état d'esprit que nous l'avons fait pour la ventilation, nous pouvons estimer la longueur de ces tuyaux (à l'intérieur de chaque zone du volume protégé) au périmètre d'un carré dont la surface est égale à la surface de plancher chauffé de chaque zone.

Ainsi, si A_{ch} est cette surface de plancher chauffé, la longueur des tuyauteries non isolées dans le V_p est $4 * \sqrt{A_{ch}}$.

Le prix de ces tuyaux est évalué à 30 €/mct .

La longueur des tuyaux à l'extérieur du V_p est donnée par l'utilisateur. Dans le cas où ces tuyaux ne sont pas isolés (\rightarrow avec un coefficient de transmission linéique supérieur à 1 W/mK), le coût est le même que pour des tuyauteries intérieures (30 €/mct). Si ces tuyaux sont isolés, leur coût doit comprendre les tubes d'isolants flexibles pour le calorifugeage, et monte à 38 €/mct (le fluide caloporteur envisagé est l'eau, ce qui permet de réduire les sections des tuyauteries).

- Le système de régulation peut comprendre différents postes. Nous donnons ci-dessous les résultats moyens obtenus après recoupement des informations obtenues dans les différentes références.
 - Vanne thermostatique : 70 €/pce (on en trouve entre 30 et 90 €/pce ...). Ce coût est à multiplier par le nombre de radiateurs mentionné plus haut ($N + 8$) ; il faut éventuellement enlever les vannes thermostatiques des radiateurs situés dans la pièce où se trouve le thermostat d'ambiance, s'il existe (pour rappel, nous avons compté deux radiateurs dans le séjour).
 - Thermostat d'ambiance : 200 €/pce , à raison d'un thermostat par zone.

Ici encore, les prix varient fort (entre 40 et 400 €). Il existe des thermostats programmables avec différents paramètres, avec ou sans fil, et des variations constatées selon les références consultées.

- Sonde extérieure : 100 €/pce, connexions comprises
- Vanne trois voies : 130 €/pce, en moyenne.

3.5. ECS

3.5.1. Données

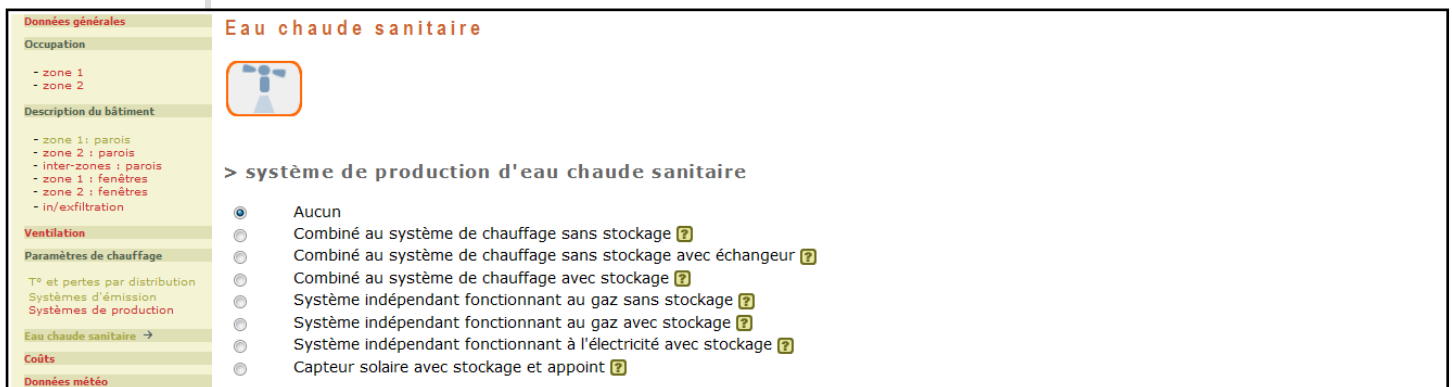


Fig. 27 : Capture d'écran du site Internet SISAL – Systèmes de production d'ECS

3.5.2. Coût

Chacun de ces systèmes doit être évalué. Ainsi, par exemple :

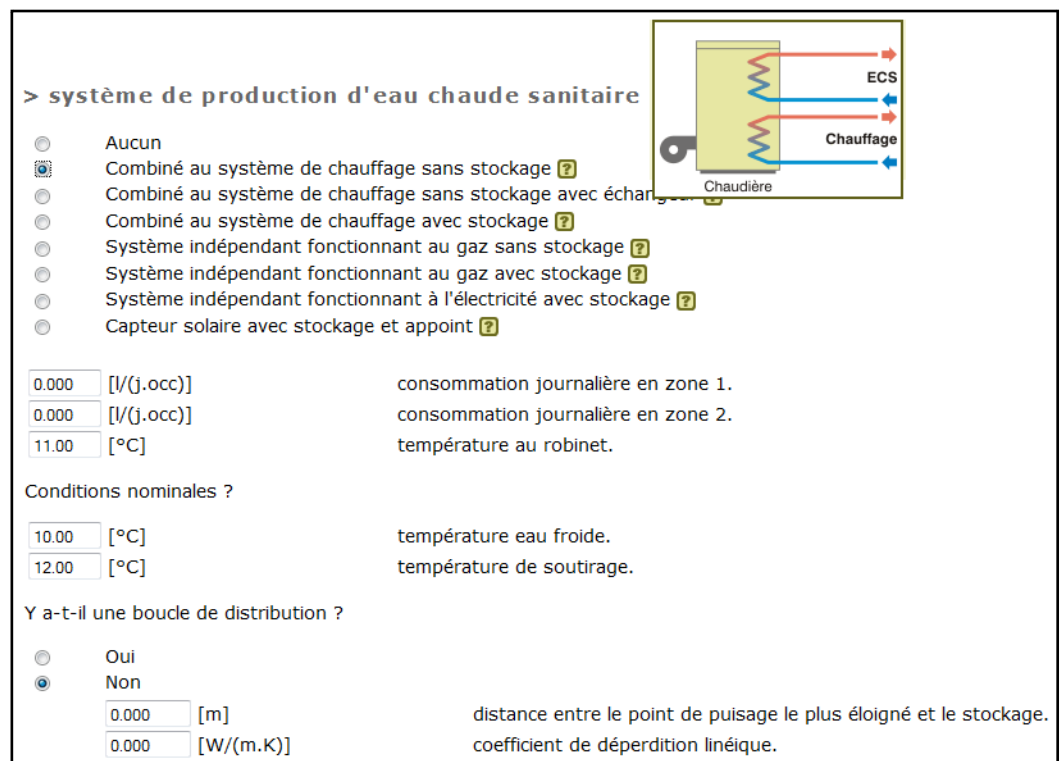


Fig. 28 : Capture d'écran du site Internet SISAL – Exemple de système d'ECS

Ce cas est particulier, dans le sens où l'eau chaude sanitaire est préparée par le même appareil producteur que le chauffage. Une analyse approfondie des coûts

nous montre qu'il est inutile, en moyenne, de compter un surcoût pour ce système, étant donné que l'appareil producteur a déjà été évalué pour le chauffage. La seule remarque à émettre est la suivante : une chaudière qui prépare l'ECS instantanément est d'ordinaire plus puissante qu'une autre chaudière qui doit chauffer le même bâtiment sans chauffer l'eau à usage sanitaire. Ce « Δ Puissance » à lui seul devrait prendre en charge le surcoût, pour autant que l'utilisateur l'encode effectivement ou que le logiciel le calcule.

Il y a tout de même un surcoût à y associer : celui d'une éventuelle boucle de circulation et, dans le cas où cette boucle n'existe pas, celui des canalisations vers les points de puisage. Ce poste est commun à tous les systèmes d'ECS.

Y a-t-il une boucle de distribution ?	
<input checked="" type="radio"/> Oui	
<input type="radio"/> Non	
<input type="text" value="0.000"/> [m]	longueur de la boucle.
<input type="text" value="0.000"/> [W/(m.K)]	coefficient de déperdition linéique.

Y a-t-il une boucle de distribution ?	
<input type="radio"/> Oui	
<input checked="" type="radio"/> Non	
<input type="text" value="0.000"/> [m]	distance entre le point de puisage le plus éloigné et le stockage.
<input type="text" value="0.000"/> [W/(m.K)]	coefficient de déperdition linéique.

Fig. 29 : Capture d'écran du site Internet SISAL – boucle de circulation ?

Dans les deux cas, la longueur des canalisations doit être signifiée, ce qui permet d'y associer un coût. Le coût unitaire est identique à celui donné pour le réseau de distribution de chaleur pour le chauffage : **30 €/mct** pour des tuyauteries non isolées, **38 €/mct** pour les tuyauteries isolées.

Dans une habitation « traditionnelle », nous pouvons compter 2 pièces dans lesquelles de l'eau chaude sanitaire est puisée : la cuisine et la salle de bain. Nous avons décidé dès le départ de ne prendre en compte que les éléments de la construction qui participent à la performance énergétique, c'est pourquoi le coût des baignoires et éviers n'interviennent pas. Par contre, il a été décidé de doubler la « distance entre le point de puisage le plus éloigné et le stockage » afin de se rapprocher de la longueur « réelle » des canalisations.

Dans le cas d'un système combiné au système de chauffage, sans stockage mais avec un échangeur, nous devons également compter ce dernier, dont le coût dépend du volume qu'il met à disposition des utilisateurs.

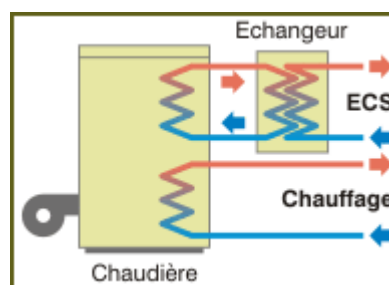


Fig. 30 : Capture d'écran du site Internet SISAL – système d'ECS combiné avec échangeur

La méthode employée pour en définir le coût est identique à celle que nous avons exploitée (et explicitée) dans la section « chaudières » ; voici les résultats :

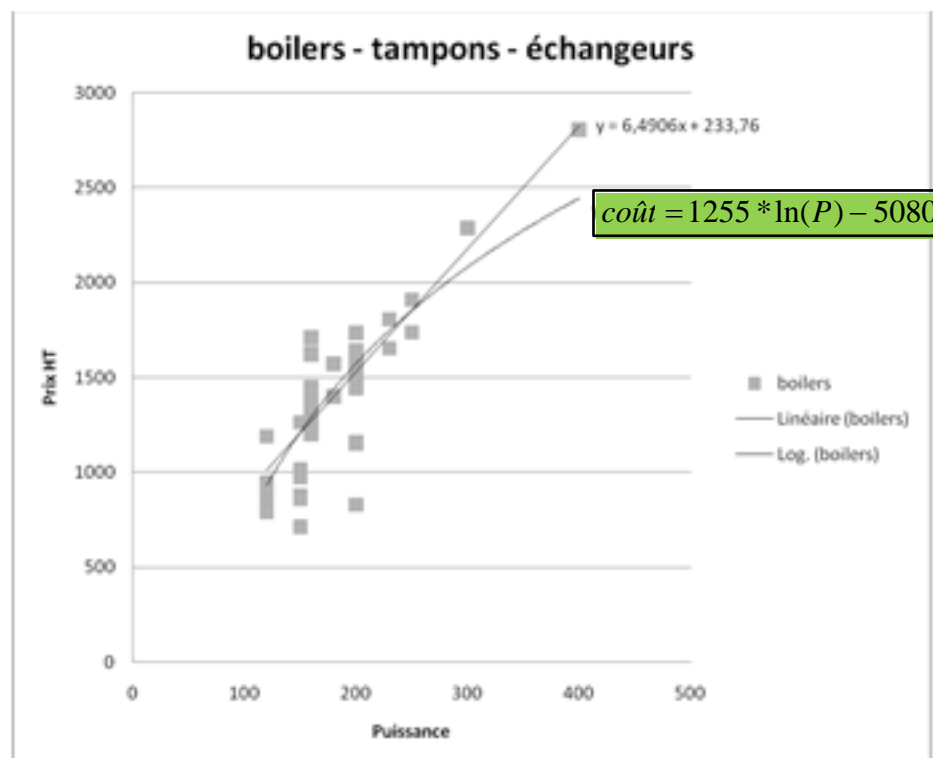


Fig. 31 : Compilation des coûts pour boilers – séparés ou intégrés

Le 3^e système proposé est le système « combiné au système de chauffage avec stockage ».

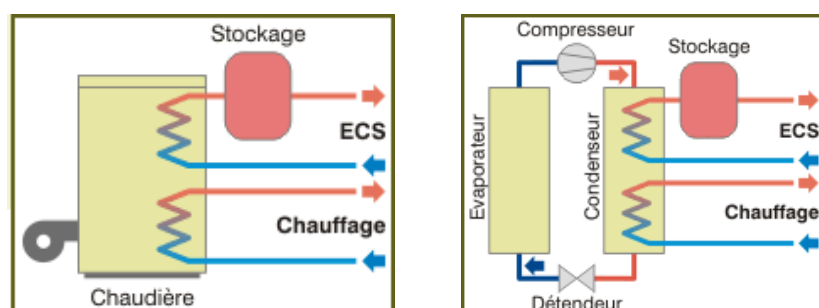


Fig. 30 : Capture d'écran du site Internet SISAL – système d'ECS combiné avec stockage

Le coût à donner est celui du stockage, dont l'unique paramètre, à l'instar du boiler, est le volume.

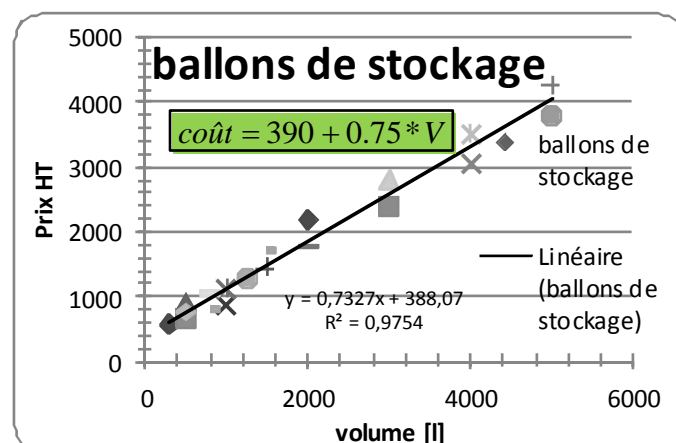


Fig. 31 : Compilation des coûts pour ballons de stockage pour ECS

Comme nous pouvons le voir, la progression des coûts est régulière : une courbe linéaire des tendances est donc suffisante (V est le volume de stockage, en litres).

Passons maintenant aux systèmes indépendants de production d'ECS, avec ou sans stockage (pour le coût de ce dernier, se référer ci-dessus). Nous devons donc différencier les systèmes de production fonctionnant à l'électricité, de ceux fonctionnant au gaz.

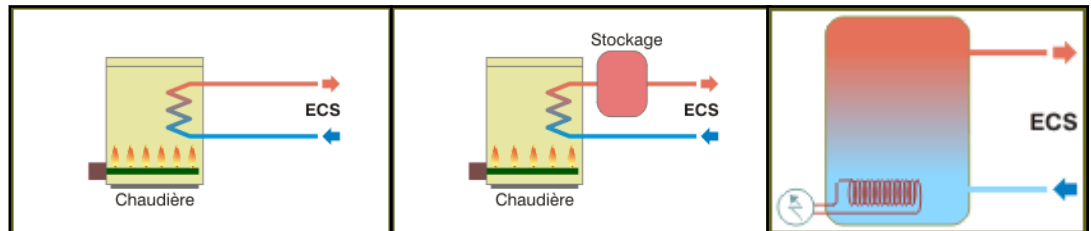


Fig. 32 : Capture d'écran du site Internet SISAL – systèmes indépendants

Le cas du système indépendant, avec stockage, fonctionnant à l'électricité, est simple. Ne possédant aucune donnée sur le rendement des machines, nous ne pouvons nous baser que sur le volume de stockage pour déterminer le coût de tout le système.

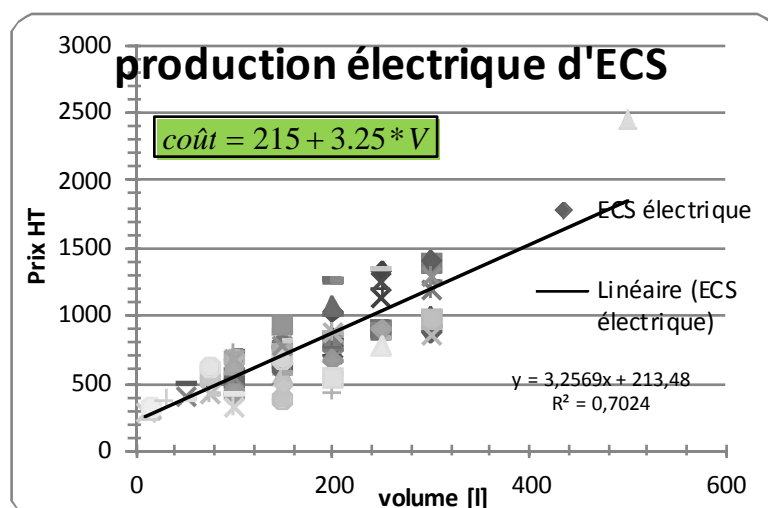


Fig. 33 : Compilation des coûts pour production électrique indépendante d'ECS dans la formule ci-dessus, V représente le volume de stockage, en litres.

Déterminer un coût pour un système de production d'ECS indépendant au gaz est chose moins aisée, dans le sens où le stockage est une donnée à part. Ces systèmes ont pour seule donnée leur rendement, que nous ne trouvons pas facilement (voire rarement) dans les bases de données. Le seul paramètre est leur puissance, traduite en litres/minute d'ECS produite. Dans le cas des systèmes résidentiels, la puissance se situe dans une fourchette entre 5 et 17 l/min :

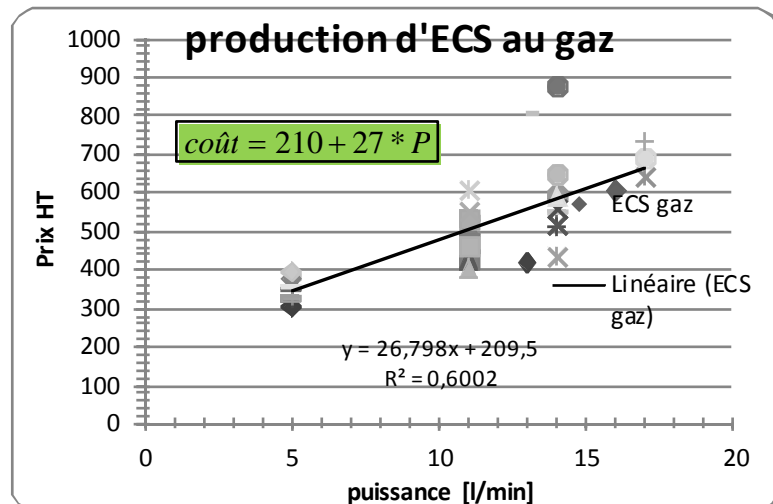


Fig. 34 : Compilation des prix pour production indépendante d'ECS au gaz P représente donc, dans la formule ci-dessus, la puissance développée par le système, en l/min.

Si nous n'introduisons pas ce paramètre P dans le logiciel, il est ardu de définir un prix « variable » ; seule une moyenne fixe de **500 €/pce** peut être donnée. Si la variable de puissance est intégrée, la formule peut être utilisée.

Le coût du stockage doit être le même que celui que nous avons calculé pour les systèmes combinés à la chaudière : **390 + 0.75 * V [€]**

Reste à déterminer une solution pour les capteurs solaires avec stockage et appoint. Encore une fois, le stockage est une affaire réglée. Mais, comme nous pouvons le voir dans l'image ci-dessous, prise du site internet SISAL, aucune information n'est demandée à l'utilisateur pour déterminer la surface des capteurs (minimum requis pour déterminer un prix) ou le type d'appoint... Nous ne tiendrons pas compte de ce dernier.

> système de production d'eau chaude sanitaire

- ☐ Aucun
- ☐ Combiné au système de chauffage sans stockage ?
- ☐ Combiné au système de chauffage sans stockage avec échangeur ?
- ☐ Combiné au système de chauffage avec stockage ?
- ☐ Système indépendant fonctionnant au gaz sans stockage ?
- ☐ Système indépendant fonctionnant au gaz avec stockage ?
- ☐ Système indépendant fonctionnant à l'électricité avec stockage ?
- ☒ Capteur solaire avec stockage et appoint ?

0.000 [l/(j.occ)] consommation journalière en zone 1.

0.000 [l/(j.occ)] consommation journalière en zone 2.

11.00 [°C] température au robinet.

Conditions nominales ?

10.00 [°C] température eau froide.

12.00 [°C] température de soutirage.

0.0 [h] temps de recharge du ballon de stockage.

0.00 [l] volume de stockage.

Y a-t-il une boucle de distribution ?

- ☐ Oui
- ☒ Non

0.000 [m] distance entre le point de puisage le plus éloigné et le stockage.

0.000 [W/(m.K)] coefficient de déperdition linéique.

Fig. 35 : Capture d'écran du site Internet SISAL – systèmes solaires

L'analyse des quelques données ne nous permet pas d'établir une relation simple entre la surface des capteurs et le volume de stockage : cela dépend de l'utilisation (ECS simple ou chauffage également), de l'installation (emplacement géographique, orientation, pente, type de capteurs...).

Étant donné l'emplacement de ce choix sur le site Internet SISAL, nous pouvons partir du principe que l'installation souhaitée servira uniquement à chauffer l'eau sanitaire. Le conseil généralement donné par les installateurs, d'un point de vue rentabilité, est d'installer entre 1 et 1,5 m² de capteurs par personne (pour un coût moyen de 500 €/m²). Ces capteurs doivent évidemment être accompagnés d'un ballon contenant en moyenne 80 litres par m² de capteur, dont le coût a été évalué plus haut ($390 + 0.75 * V$). Nous devons également évaluer le coût des « accessoires » à cette installation de base : régulateur, sonde de température, vase d'expansion, circulateur, fixations et main d'œuvre, qui représentent un coût fixe de l'ordre de 1 900 € par habitation.

Nous obtenons donc, en considérant un nombre N d'occupants dans le logement, un coût de $1\,900 + 390 + 0,75 * (N * 80) + N * 1,25 * 500$

$$= 2\,290 + 685 * N$$

Par exemple, pour 4 personnes, l'installation calculée inclut 5 m² de panneaux, un ballon de 320 l, et le coût calculé est de 5 030 €.

Bien sûr, derrière ces moyennes se cache une grande disparité : par exemple, s'il ne faudra que 4 m² de capteurs et un ballon simple pour une installation dans le sud de la France, une installation en Belgique nécessitera de 5 à 6 m² de capteurs avec un ballon à double échangeur. De plus, le coût donné pour les capteurs est une moyenne obtenue entre des capteurs plans à 400 €/m² et des capteurs tubulaires qui présentent un prix plus élevé, de l'ordre de 600 €/m². Le coût total hors taxe (installation comprise) peut ainsi varier, selon la région, de 4 000 € à 7 000 €.

3.6. Combustibles

Au niveau du prix des combustibles, étant donné les différences importantes qui existent entre les fournisseurs, et les fluctuations incessantes actuelles du prix de l'énergie, il est intéressant de laisser la possibilité aux utilisateurs de rentrer eux-mêmes le prix du kWh de leurs fournisseurs d'énergie. Une valeur par défaut, comme souvent, sera proposée.

Pour information (et mise à jour de ces valeurs par défaut), les prix proposés par le magazine Renouvelle en janvier 2011 sont les suivants :

PRIX D'ACHAT DE L'ÉNERGIE PAR LES MÉNAGES						
Comparaison du prix de l'énergie achetée par les ménages en janvier 2011						
	31 déc. 2010	Prix achat énergie TVAC	Unité	Prix achat énergie /kWh	Autres frais	Données sources
Forme d'énergie achetée				c€ TVAC		
	Soleil, vent, cours d'eau	0,0	c€/kWh	0,0		
bois	Bûches séchées (sous abri 1 an)	73,0	€/stère	3,7	Livraison incluse	ValBiom
	Plaquettes (30% HR)	22,0	€/map	3,2		ValBiom
	Granulés (vrac, min. 4 t)	240,0	€/t	4,8		ValBiom
	Granulés (sac, min. 1 palette)	265,0	€/t	5,3		ValBiom
ma- zout	Livraison supérieure à 2000 l	75,6	c€/l	7,5	Livraison incluse	FPB
Propane	Vrac	77,0	c€/l	11,4	Livraison incluse	FPB
	Bouteille	221,4	c€/kg	16,0		FPB
gaz naturel	Marché RW	5,4-7,9	c€/kWh (PCI)	5,4-7,9	Redevance incluse	CWaPE BRUGEL VREG
	Marché RB	5,9-7,8		5,9-7,8		
	Marché RF	5,3-7,9		5,3-7,9		
Electricité bi-horaire	Marché RW	16,3-35,1	c€/kWh	16,3-35,1	Redevance incluse	CWaPE BRUGEL VREG
	Marché RB	18,8-21,0		18,8-21,0		
	Marché RF	16,1-21,6		16,1-21,6		
Electricité simple	Marché RW	16,7-35,6	c€/kWh	16,7-35,6	Redevance incluse	CWaPE BRUGEL VREG
	Marché RB	19,6-23,2		19,6-23,2		
	Marché RF	15,5-22,3		15,5-22,3		

Fig. 36 : Prix des combustibles – Renouvelé janvier 2011

Au vu des récentes évolutions des prix de l'énergie, il est bien sûr recommandé de mettre à jour ces données de façon régulière, sans quoi les prix proposés ne représenteront rien de concret.

4. Annexe

Liste des prix associés aux parois pré-encodées.

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

	matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
MURS INTERIEURS								
1	gyproc	10	0,2	0,05	1300	840		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
	air	70	0,412	0,17	1,2	1000		
	gyproc	10	0,2	0,05	1300	840		
	TOTAL	90		0,27				
2	gyproc	10	0,2	0,05	1300	840		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
	isolant	70	0,035	2	35	830		
	gyproc	10	0,2	0,05	1300	840		
	TOTAL	90		2,1				
3	plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	36,79	Enduit plâtre fin
	blocs béton lourd	140	1,273	0,11	1200	840	64,26	Bloc de béton lourd alvéolé
	plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	36,79	Enduit plâtre fin
	TOTAL	160		0,148			137,84	
PLAFONDS INTERIEURS								
1	tapis	10	0,19	0,053	1200	1470		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
	mortier	40	0,93	0,043	1900	840		
	panneaux agglomérés	22	0,14	0,157	700	1880		
	TOTAL	72		0,253				
2	tapis	10	0,19	0,053	1200	1470		Si le vocable " couche sup' " désigne la dalle d'égalisation sur les hourdis, alors la chape de pose du revêtement de sol est manquante. Quel faux-plafond et quelle structure de faux-plafond ?
	"couche sup'	20	0,23	0,087	1000	840		
	hourdis	200	1,182	0,169	2500	840		
	plenum	650	3,82	0,17	1,29	1000		
	faux plafond	20	0,04	0,5	120	840		
	TOTAL	900		0,979				

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

	matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
3	carrelage	10	1,2	0,008	2000	840		
	"couche sup"	20	0,23	0,087	1000	840		
	hourdis	200	1,182	0,169	2500	840		Si le vocable " couche sup " désigne la dalle d'égalisation sur les hourdis, alors la chape de pose du revêtement de sol est manquante.
	TOTAL	230		0,264				
4	tapis	10	0,19	0,053	1200	1470		
	"couche sup"	20	0,23	0,087	1000	840		
	hourdis	200	1,182	0,169	2500	840		Si le vocable " couche sup " désigne la dalle d'égalisation sur les hourdis, alors la chape de pose du revêtement de sol est manquante.
	TOTAL	230		0,309				
5	carrelage	10	1,2	0,008	2000	840		
	béton	50	1,7	0,029	2400	840		
	hourdis	160	1,182	0,135	2500	840		
	isolant	50	0,035	1,429	35	830		Quel type d' isolant ? Quelle structure intermédiaire éventuelle permettant de fixer la plaque de plâtre (Gyproc) ? Elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U.
	gyproc	10	0,2	0,05	1300	840		
	TOTAL	280		1,651				
6	tapis	10	0,19	0,053	1200	1470		
	béton	50	1,7	0,029	2400	840		
	hourdis	160	1,182	0,135	2500	840		
	isolant	50	0,035	1,429	35	830		Quel type d' isolant ? Quelle structure intermédiaire éventuelle permettant de fixer la plaque de plâtre (Gyproc) ? Elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U.
	gyproc	10	0,2	0,05	1300	840		
	TOTAL	280		1,696				
7	carrelage	10	1,2	0,008	2000	840		
	béton	50	1,7	0,029	2400	840		
	isolant	30	0,035	0,857	35	830		Sur 30 mm d'isolant, il faut au moins 70 mm de chape , et non 50 mm, si l'isolant est peu déformable (mousse synthétique) ou 75 mm dans le cas d'une laine minérale (cf. Tableau 1 de la NIT 193 "Les chapes - 2e partie : Mise en œuvre" du CSTC).
	hourdis	160	1,182	0,135	2500	840		
	plâtre	10	0,52	0,019	1300	840		
	TOTAL	260		1,048				

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

	matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
8	tapis	10	0,19	0,053	1200	1470		Sur 30 mm d'isolant, il faut au moins 70 mm de chape , et non 50 mm, si l'isolant est peu déformable (mousse synthétique) ou 75 mm dans le cas d'une laine minérale (cf. Tableau 1 de la NIT 193 "Les chapes - 2e partie : Mise en œuvre" du CSTC).
	béton	50	1,7	0,029	2400	840		
	isolant	30	0,035	0,857	35	830		
	hourdis	160	1,182	0,135	2500	840		
	plâtre	10	0,52	0,019	1300	840		
	TOTAL	260		1,093				
9	carrelage	10	1,2	0,008	2000	840		Sur 50 mm d'isolant, l'épaisseur de la chape doit passer à 80 mm et non rester à 50 mm comme spécifié (cf. Tableau 1 de la NIT 193 "Les chapes - 2e partie : Mise en œuvre" du CSTC).
	béton	50	1,7	0,029	2400	840		
	isolant	50	0,035	1,429	35	830		
	béton	40	1,7	0,024	2400	840		
	hourdis	160	1,182	0,135	2500	840		
	plâtre	10	0,52	0,019	1300	840		
	TOTAL	320		1,644				
10	tapis	10	0,19	0,053	1200	1470		Sur 50 mm d'isolant, l'épaisseur de la chape doit passer à 80 mm et non rester à 50 mm comme spécifié (cf. Tableau 1 de la NIT 193 "Les chapes - 2e partie : Mise en œuvre" du CSTC).
	béton	50	1,7	0,029	2400	840		
	isolant	50	0,035	1,429	35	830		
	béton	40	1,7	0,024	2400	840		
	hourdis	160	1,182	0,135	2500	840		
	plâtre	10	0,52	0,019	1300	840		
	TOTAL	320		1,689				
11	carrelage	10	1,2	0,008	2000	840	49,95	Carrelage 30 x 30 (prix fourniture de 10.00 € hTVA)
	mortier	60	0,93	0,065	1900	840	28,08	Chape mortier (400 kg de ciment par m³) d'épaisseur moyenne 6 cm
	béton	30	1,7	0,018	2400	840	0	compris dans poste "hourdis"
	hourdis	160	1,182	0,135	2500	840	58,1	Plancher 16+3 portée <= 5,00 m
	plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	36,79	Enduit plâtre fin
	TOTAL	270		0,245			172,92	

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

	matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
12	tapis	10	0,19	0,053	1200	1470	25,28	Revêtement textile (prix fourniture de 8.00 € hTVA)
	mortier	60	0,93	0,065	1900	840	28,08	Chape mortier (400 kg de ciment par m³) d'épaisseur moyenne 6 cm
	béton	30	1,7	0,018	2400	840	0	compris dans poste "hourdis"
	hourdis	160	1,182	0,135	2500	840	58,1	Plancher 16+3 portée <= 5,00 m
	plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	36,79	Enduit plâtre fin
	TOTAL	270		0,29			148,25	
13	carrelage	10	1,2	0,008	2000	840		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
	mortier	40	0,93	0,043	1900	840		
	panneaux agglomérés	22	0,14	0,157	700	1880		
	TOTAL	72		0,208				
14	carrelage	10	1,2	0,008	2000	840		Que recouvre le vocable " couche sup " : - la dalle d'égalisation sur les hourdis ? (auquel cas la chape serait manquante) - la chape permettant la pose du carrelage ? (auquel cas pourquoi l'avoir appelée "couche sup" alors que, dans d'autres plafonds intérieurs, le mot "béton" renvoie mieux à la chape ?) - une couche de désolidarisation acoustique ?
	"couche sup"	20	0,23	0,087	1000	840		
	hourdis	200	1,182	0,169	2500	840		
	plenum	650	3,82	0,17	1,29	1000		
	faux plafond	20	0,04	0,5	120	840		
	TOTAL	900		0,934				
PLANCHERS INTERIEURS								
1	tapis	10	0,19	0,053	1200	1470		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
	mortier	40	0,93	0,043	1900	840		
	panneaux agglomérés	22	0,14	0,157	700	1880		
	TOTAL	72		0,253				
2	tapis	10	0,19	0,053	1200	1470		Que recouvre le vocable " couche sup " : - la dalle d'égalisation sur les hourdis ? (auquel cas la chape serait manquante) - la chape permettant la pose du tapis ? (auquel cas pourquoi l'avoir appelée "couche sup" alors que, dans d'autres plafonds intérieurs, le mot "béton" renvoie mieux à la chape ?) - une couche de désolidarisation acoustique ? Quel faux-plafond et quelle structure de faux-plafond ?
	"couche sup"	20	0,23	0,087	1000	840		
	hourdis	200	1,182	0,169	2500	840		
	plenum	650	3,82	0,17	1,29	1000		
	faux plafond	20	0,04	0,5	120	840		
	TOTAL	900		0,979				
3	carrelage	10	1,2	0,008	2000	840		Que recouvre le vocable " couche sup " : la dalle d'égalisation sur les hourdis ? (auquel cas la

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
"couche sup"	20	0,23	0,087	1000	840		chape serait manquante), la chape permettant la pose du carrelage (auquel cas pourquoi l'avoir appelée "couche sup" alors que, dans d'autres plafonds intérieurs, le mot "béton" renvoie mieux à la "chape" ?), une couche de désolidarisation acoustique ?
hourdis	200	1,182	0,169	2500	840		
TOTAL	230		0,264				
4 tapis	10	0,19	0,053	1200	1470		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U. Que recouvre le vocable " couche sup " : la dalle d'égalisation sur les hourdis ? la chape permettant la pose du tapis ? une couche de désolidarisation acoustique ?
"couche sup"	20	0,23	0,087	1000	840		
hourdis	200	1,182	0,169	2500	840		
TOTAL	230		0,309				
5 carrelage	10	1,2	0,008	2000	840		La structure reprenant isolant et plaque de plâtre (Gyproc) n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
béton	50	1,7	0,029	2400	840		
hourdis	160	1,182	0,135	2500	840		
isolant	50	0,035	1,429	35	830		
gyproc	10	0,2	0,05	1300	840		
TOTAL	280		1,651				
6 tapis	10	0,19	0,053	1200	1470		La structure reprenant isolant et plaque de plâtre (Gyproc) n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
béton	50	1,7	0,029	2400	840		
hourdis	160	1,182	0,135	2500	840		
isolant	50	0,035	1,429	35	830		
gyproc	10	0,2	0,05	1300	840		
TOTAL	280		1,696				
7 carrelage	10	1,2	0,008	2000	840	49,95	Carrelage 30 x 30 (prix fourniture HTVA de 10.00 €)
béton	50	1,7	0,029	2400	840	23,4	Chape mortier (400 kg de ciment par m³) d'épaisseur moyenne 5 cm
isolant	30	0,035	0,857	35	830	11,16	DOMISOL LR épaisseur 30 mm R = 0.85 = Panneau en laine de roche de haute résistance mécanique pour charges d'exploitation <= 500 kg/m²
hourdis	160	1,182	0,135	2500	840	58,1	Plancher 16+4 portée <= 5,00 m
plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	36,79	Enduit plâtre fin
TOTAL	260		1,048			179,4	
8 tapis	10	0,19	0,053	1200	1470	25,28	Revêtement textile (prix fourniture de 8.00 € HT)
béton	50	1,7	0,029	2400	840	23,4	Chape mortier (400 kg de ciment par m³) d'épaisseur moyenne 5 cm

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
isolant	30	0,035	0,857	35	830	11,16	DOMISOL LR épaisseur 30 mm R = 0.85 = Panneau en laine de roche de haute résistance mécanique pour charges d'exploitation <= 500 kg/m²
hourdis	160	1,182	0,135	2500	840	58,1	Plancher 16+4 portée <= 5,00 m
plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	36,79	Enduit plâtre fin
TOTAL	260		1,093			154,73	
9 carrelage	10	1,2	0,008	2000	840		Sur 50 mm d'isolant, l'épaisseur de la chape doit passer à 80 mm et non rester à 50 mm comme spécifié (cf. Tableau 1 de la NIT 193 "Les chapes - 2e partie : Mise en œuvre" du CSTC).
béton	50	1,7	0,029	2400	840		
isolant	50	0,035	1,429	35	830		
béton	40	1,7	0,024	2400	840		
hourdis	160	1,182	0,135	2500	840		
plâtre	10	0,52	0,019	1300	840		
TOTAL	320		1,644				
10 tapis	10	0,19	0,053	1200	1470		Sur 50 mm d'isolant, l'épaisseur de la chape doit passer à 80 mm et non rester à 50 mm comme spécifié (cf. Tableau 1 de la NIT 193 "Les chapes - 2e partie : Mise en œuvre" du CSTC).
béton	50	1,7	0,029	2400	840		
isolant	50	0,035	1,429	35	830		
béton	40	1,7	0,024	2400	840		
hourdis	160	1,182	0,135	2500	840		
plâtre	10	0,52	0,019	1300	840		
TOTAL	320		1,689				
11 carrelage	10	1,2	0,008	2000	840	49,95	Carrelage 30 x 30 (prix fourniture de 10.00 € hTVA7)
mortier	60	0,93	0,065	1900	840	28,08	Chape mortier (400 kg de ciment par m³) d'épaisseur moyenne 6 cm
béton	30	1,7	0,018	2400	840	0	compris dans poste "hourdis"
hourdis	130	1,182	0,11	2500	840	52,35	Plancher 13+3 portée <= 4,00 m
plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	36,79	Enduit plâtre fin
TOTAL	240		0,22			167,17	
12 tapis	10	0,19	0,053	1200	1470	25,28	Revêtement textile (prix fourniture de 8.00 € hTVA)
mortier	60	0,93	0,065	1900	840	28,08	Chape mortier (400 kg de ciment par m³) d'épaisseur moyenne 6 cm
béton	30	1,7	0,018	2400	840	0	compris dans poste "hourdis"
hourdis	130	1,182	0,11	2500	840	52,35	Plancher 13+3 portée <= 4,00 m
plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	36,79	Enduit plâtre fin
TOTAL	240		0,265			142,5	

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
13 carrelage	10	1,2	0,008	2000	840		
mortier	40	0,93	0,043	1900	840		
panneaux agglomérés	22	0,14	0,157	700	1880		
TOTAL	72		0,208				Si le vocable " couche sup' " désigne la dalle d'égalisation sur les hourdis, alors la chape de pose du revêtement de sol est manquante.
14 carrelage	10	1,2	0,008	2000	840		
"couche sup"	20	0,23	0,087	1000	840		
hourdis	200	1,182	0,169	2500	840		
plenum	650	3,82	0,17	1,29	1000		
faux plafond	20	0,04	0,5	120	840		
TOTAL	900		0,934				Si le vocable " couche sup' " désigne la dalle d'égalisation sur les hourdis, alors la chape de pose du revêtement de sol est manquante.
MURS EXTERIEURS							
1 limestone	214	1,69	0,127	2000	840		
isolant	70	0,035	2	35	840		
vide ventilé	20	0,118	0,169	1,29	1000		
briques	100	1	0,1	1900	840		
TOTAL	404		2,396				Où est la partie portante du mur ? "Limestone" renvoie à de la pierre naturelle, matériau pourtant non utilisé pour la partie intérieure d'un mur extérieur. Les parements en brique standard ont une épaisseur de 9 cm.
2 gyproc	12,5	0,25	0,05	1300	840		
isolant	46	0,035	1,314	35	830		
OSB	12	0,12	0,1	650	1880		
isolant	140	0,035	4	35	830		
blocs béton	190	1,357	0,14	1200	840		
TOTAL	400,5		5,604				La composition de ce mur extérieur laisse supposer une plaque de plâtre (Gyproc) posée du côté intérieur : la structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U. Pour quelle raison prévoir un parement de 19 cm d'épaisseur ? Pour le rendre porteur ? Avec quelle solution pour éviter l'interruption de l'isolation thermique à la reprise des planchers ?
3 gyproc	12,5	0,25	0,05	1300	840		
vide entre lattes	23	0,4	0,058	91	1132		
isolant	90	0,035	2,571	35	830		
pierres	550	1,69	0,325	2200	840		
TOTAL	675,5		3,004				La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U. Attention : le choix d'un parement en pierre implique une coulisse ventilée derrière le parement - fortement imperméable à la diffusion de vapeur d'eau - pour éviter une détérioration du matériau isolant à cause de la formation de condensation au dos du

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

	matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
4	gyproc	10	0,2	0,05	1300	840		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
	isolant	75	0,035	2,143	35	830		
	multiplex	10	0,14	0,071	600	1880		
	vide faiblement ventilé	30	0,176	0,17	1,2	1000		
	briques maçonnerie lourde	90	1,1	0,082	1800	840		
	TOTAL	215		2,516				
5	panneaux contreplaqué	5	0,14	0,036	600	1880		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
	isolant entre chevrons	61	0,044	1,386	96,2	944		
	panneaux contreplaqué	5	0,14	0,036	600	1880		
	vide faiblement ventilé	30	0,176	0,17	1,2	1000		
	briques maçonnerie lourde	90	1,1	0,082	1800	840		
	TOTAL	191		1,71				
6	panneaux OSB	18	0,13	0,138	650	1880		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
	isolant	200	0,035	5,714	35	830		
	celit 4D	30	0,052	0,577	700	1880		
	TOTAL	248		6,429				
7	gyproc	10	0,2	0,05	1300	840		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
	isolant	75	0,035	2,143	35	830		
	multiplex	10	0,14	0,071	600	1880		
	TOTAL	95		2,264				

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

	matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
8	panneaux contreplaqué	5	0,14	0,036	600	1880		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U. Le matériau du parement n'est pas spécifié ni en épaisseur, ni en matériau : s'agit-il d'un crépi ou d'un bardage ou ... ?
	isolant entre chevrons	61	0,044	1,386	96,2	944		
	panneaux contreplaqué	5	0,14	0,036	600	1880		
	parement							
	TOTAL	71		1,458				
9	bois	86	0,12	0,717	600	1880		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
	isolant	75	0,035	2,143	35	830		
	vide faiblement ventilé	50	0,176	0,284	1,2	1000		
	briques maçonnerie lourde	90	1,1	0,082	1800	840		
	TOTAL	301		3,226				
10	gyproc	12,5	0,25	0,05	1200	840		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U
	isolant	46	0,035	1,314	35	830		
	OSB	12	0,13	0,092	650	1880		
	isolant	140	0,035	4	35	830		
	celit	22	0,052	0,423	700	1880		
	vide entre lattes	23	0,4	0,058	91	1132		
	bois	22	0,14	0,157	700	1880		
	TOTAL	277,5		5,879				
11	plâtre	10	0,52	0,019	1300	840		Le matériau du parement n'est pas spécifié ni en épaisseur, ni en matériau : s'agit-il d'un crépi ou d'un bardage ou ... ?
	béton cellulaire	290	0,15	1,933	400	840		
	TOTAL	300		1,952				
12	plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	9,1	Enduit plâtre allège 10 mm
	blocs terre cuite	140	0,467	0,3	1200	840	57,13	Maçonnerie posée à joints minces (environ 1,5 mm) Type POROTHERM R15
	isolant	70	0,035	2	35	830	7,62	Panneau en laine de verre ISOVER de type MONOSPACE 35 revêtu kraft - épaisseur 75 mm R = 2.10 m²K/W
	vide faiblement ventilé	30	0,176	0,17	1,2	1000	0	
	briques maçonnerie lourde	90	1,1	0,082	1800	840	63,84	Type POROTHERM T20
	TOTAL	340		2,571			137,69	
13	plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	9,1	Enduit plâtre allège 10 mm Maçonnerie posée à joints minces (environ 1,5 mm)

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
blocs terre cuite	140	1,273	0,11	1200	840	57,13	Type POROTHERM R15 (50 x 15 x 24.9 cm)
isolant	70	0,035	2	35	830	5,11	Panneau en laine de verre ISOVER de type PB 38 nu épaisseur 75 mm R = 2.00
vide ventilé	30	0,176	0,17	1,2	1000	0	
briques	90	1,1	0,082	1800	840	63,84	Type POROTHERM T20
TOTAL	340		2,381			135,18	
14 plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	Le matériau du parement n'est pas spécifié ni en épaisseur, ni en matériau : s'agit-il d'un crépi ou d'un bardage ou ... ?	
béton cellulaire	190	0,15	1,267	400	840		
isolant	50	0,035	1,429	35	830		
TOTAL	250		2,715				
15 bois	86	0,12	0,717	600	1880	Le matériau du parement n'est pas spécifié ni en épaisseur, ni en matériau : s'agit-il d'un crépi ou d'un bardage ou ... ?	
isolant	75	0,035	2,143	35	830		
TOTAL	161		2,86				
16 plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	Le matériau du parement n'est pas spécifié ni en épaisseur, ni en matériau : s'agit-il d'un crépi ou d'un bardage ou ... ? Les blocs de la partie intérieure du mur sont-ils bien en argile expansée ?	
blocs argile	140	0,467	0,3	1200	840		
isolant	70	0,035	2	35	830		
TOTAL	220		2,319				
17 plâtre	10	0,52	0,019	1300	840	Le matériau du parement n'est pas spécifié ni en épaisseur, ni en matériau : s'agit-il d'un crépi ou d'un bardage ou ... ?	
blocs béton	140	1,273	0,11	1200	840		
isolant	70	0,035	2	35	830		
TOTAL	220		2,129				

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
TOITURES EXTERIEURES							
1 plâtre	10	0,52	0,019	1300	840		L' épaisseur d'isolant prévue dans la composition de la paroi ne permet pas de respecter la condition du coefficient de transmission thermique U _{max} de 0,3 W/m²K à ne pas dépasser pour les toitures extérieures. Le matériau de l' étanchéité n'est pas spécifié.
hourdis	130	1,182	0,11	1600	840		
béton de pente, lourd non armé	145	1,3	0,112	2200	840		
isolant	80	0,035	2,286	35	830		
revêtement							
TOTAL	365		2,527				
2 gyproc	10	0,2	0,05	1300	840		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U. Le matériau de couverture n'est pas spécifié.
isolant entre pannes	172,8	0,0523	3,304	68,9	893		
TOTAL	182,8		3,354				
3 plâtre	10	0,2	0,05	1300	840		Le béton de pente est un béton léger . Le matériau de l' étanchéité n'est pas spécifié. L' épaisseur d'isolant prévue dans la composition de la paroi ne permet pas de respecter la condition du coefficient de transmission thermique U _{max} de 0,3 W/m²K à ne pas dépasser pour les toitures extérieures.
isolant	70	0,035	2	35	830		
air	100	0,714	0,14	1,2	1000		
hourdis	130	1,182	0,11	1600	840		
béton de pente, lourd non armé	145	1,3	0,112	2200	840		
TOTAL	455		2,412				
4 gyproc	12,5	0,25	0,05	1300	840		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U. Le matériau de couverture ou d' étanchéité n'est pas spécifié.
vide entre lattes	23	0,4	0,058	91	1132		
isolant	175	0,035	5	35	830		
celit	22	0,052	0,423	700	1880		
TOTAL	232,5		5,531				
5 gyproc	12,5	0,25	0,05	1300	840		L' épaisseur d'isolant prévue dans la composition de la paroi ne permet pas de respecter la condition du coefficient de transmission thermique U _{max} de 0,3 W/m²K à ne pas dépasser pour les toitures extérieures.
vide entre lattes	23	0,4	0,058	91	1132		
vide entre pannes	140	0,4	0,35	91	1132		
isolant entre pannes	100	0,035	2,857	35	830		
revêtement							
TOTAL	275,5		3,315				

PLANCHERS EXTERIEURS

Liste des parois SISAL préencodées pour le résidentiel

	matériau	épaisseur (e) [mm]	conductivité thermique (λ) [W/mK]	Résistance thermique (R) [m²K/W]	masse volumique (ρ) [kg/m³]	chaleur spécifique (c) [J/kg.K]	prix [€/m²]	Remarques
1	carrelage	10	1,2	0,008	2000	840	71,03	Carrelage 30 x 30 (prix fourniture hTVA de 10.00 €)
	mortier	70	0,93	0,075	1900	840	30,17	Chape mortier (400 kg de ciment par m³) d'épaisseur moyenne 7 cm
	isolant	60	0,035	1,714	35	830	23,91	DOMISOL LR épaisseur 20 mm R = 0.55 (9,04€/m²) + DOMISOL LR épaisseur 40 mm R = 1.10 (14,87 €/m²) = panneaux en laine de roche de haute résistance mécanique pour charges d'exploitation <= 500 kg/m2
	béton lourd armé	30	1,7	0,018	2400	840	0	compris dans poste "hourdis"
	hourdis	130	1,182	0,11	1600	840	63,05	Plancher 13 + 3 portée <= 4.00 m
	TOTAL	300		2,265			188,16	
2	bois	15	0,17	0,088	700	1880		La structure de la paroi n'est pas définie, ni en matériau, ni en épaisseur, alors qu'elle intervient désormais (depuis le 1/09/10) dans le calcul du coefficient de transmission thermique U.
	isolant	17	0,042	0,405	120	2100		
	OSB	18	0,13	0,138	650	1880		
	isolant	140	0,035	4	35	830		
	vide entre lattes	30	0,4	0,075	91	1132		
	bois	20	0,19	0,105	700	1880		
	TOTAL			4,811				
3	carrelage	10	1,2	London, GB	2000	840	71,03	Carrelage 30 x 30 (prix fourniture de 10.00 €)
	mortier	70	0,93	Toll Free 08	1900	840	30,17	Chape mortier (400 kg de ciment par m³) d'épaisseur moyenne 7 cm
	béton lourd armé	30	1,7	0,018	2400	840	0	compris dans poste "hourdis"
	hourdis	130	1,182	0,11	1600	840	63,05	Plancher 13 + 3 portée <= 4.00 m
	isolant	70	0,035	2	35	830	16,33	Polystyrène épaisseur 70 mm R = 2.45 m²K/W
	TOTAL	310		2,128			180,58	